

UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie

Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Vliv povrchové úpravy střížníků na kvalitu střížné plochy a životnost nástroje.
Influence of Stamp Surface Treatment on Cut Area Quality and Tool Live Time

Alan Mikyska

KSP – TP – 793

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. - *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce:

Ing. Milan Poloch - *ŘETĚZY VAMBERK spol.s r.o.*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	62
Počet tabulek	13
Počet příloh	3
Počet obrázků	40

Datum: 23.5.2008

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství
Diplomant: Alan Mikyska
Téma práce: Vliv povrchové úpravy střížníků na kvalitu střížné plochy a
životnost nástroje.
Influence of Stamp Surface Treatment on Cut Area Quality
and Tool Live Time

Číslo DP: KSP – TP – 793
Vedoucí DP: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D – TU v Liberci
Konzultant DP: Ing. Milan Poloch – ŘETĚZY VAMBERK spol.s r.o.

Abstrakt:

Tématem této diplomové práce bylo zjištění vlivu povrchové úpravy střížníků na kvalitu střížné plochy a životnost nástroje. Byly vybrány dvě metody povrchové úpravy nástrojů, a to metody PVD a PECVD. Pro zjištění vlivu povrchové úpravy střížníků na kvalitu a životnost nástroje byla stanovena závislost rozměru stříhaného otvoru na množství stříhaných výlisků. Na základě této závislosti bylo firmě ŘETĚZY VAMBERK s.r.o. doporučeno pokračovat v ověřovacích sériích.

Abstract:

A diploma work topic was to detect influence of stamp surface treatment on cut area quality and tool live time . There had been chosen two methods of the surface treatment as follows : PVD and PECVD . For detection of influence of the stamp surface treatment on cut area quality and tool live time was defined a stamped hole dimension dependence on the pressed pieces quantity . Due to this dependence has been recommended a company ŘETĚZY VAMBERK spol. s r.o. to continue in the next production verification .

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vykonal samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, dne 23. května 2008

.....

Alan Mikyska
Podřezov 640
517 54 Vamberk

Poděkování:

V úvodu bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D. a konzultantovy Ing. Milanu Polochovi za vysoce odborné vedení, rady a věcné připomínky, díky kterým jsem se mohl mnohem lépe orientovat v celé problematice při vypracování diplomové práce.

Dále chci touto cestou poděkovat všem, kteří mně za dobu mého studia obohatili o spoustu nových vědomostí, díky kterým se mi podařilo dojít až sem. Zvláště pak chci poděkovat své rodině za maximální podporu a shovívavost po čas celého studia.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 23.5.2008

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 23.5.2008

Signature

OBSAH

1	ÚVOD [1]	9
1.1	Firma ŘETĚZY VAMBERK spol.s r.o. [1]	9
2	TEORETICKÁ ČÁST	13
2.2	Proces stříhání	13
2.2.1	Kvalita střížné plochy	18
2.2.2	Střížná vůle	19
2.2.3	Střížný odpor	20
2.2.4	Střížná síla	21
2.2.5	Stírací a protlačovací síla	23
2.2.6	Střížná práce	25
2.2.7	Vliv rychlosti při stříhání	25
2.2.8	Zpevnění materiálů v okolí střížné plochy	26
2.2.9	Technologie přistřihování	26
2.3	Materiály střížných nástrojů	27
2.4	Základní rozdělení povlaků vytvářené v plynné fázi	28
2.4.1	Povlaky PVD	29
2.4.2	Povlaky CVD	32
2.4.3	Měření vlastností povlaků	33
2.4.3.1	Tvrdost	33
2.4.3.2	Tloušťka	34
2.4.3.3	Drsnost	35
2.4.3.4	Adheze	36
2.4.3.5	Kluzné vlastnosti	36
2.4.3.6	Odolnost vůči oxidaci	37
2.4.3.7	Chemická a tepelná stabilita	37
2.5	Základní vlastnosti kovů a jejich zkoušení	37
2.5.1	Zkouška tahem (ČSN 42 0310)	39
2.5.2	Zkouška v ohybu	42
2.5.3	Zkoušky tvrdosti	43
2.5.3.1	Zkouška podle Brinella (ČSN 42 0371)	44
2.5.3.2	Zkouška podle Vickerse	45
3	Experimentální část	46
3.1	Příprava vzorků	47
3.1.1	Volba materiálu a střížného procesu	47
3.1.2	Volba povlaků na střížný nástroj	51
3.1.3	Materiál střížného nástroje	51
3.1.4	Druhy použitých střížníků	52
3.2	Měření vzorků	53
3.2.1	Měření rozměru vzorku	53
3.2.2	Měření tvrdosti vzorku	57
3.3	Diskuse získaných výsledků	58
4	Závěr	61
5	seznam použité literatury	62

**Seznam použitých symbolů:**

<u>Označení</u>	<u>Název</u>	<u>Jednotka</u>
A	Střížná práce	[J]
A ₈₀	Tažnost	[%]
c	Součinitel stupně stříhu	[1]
c ₁	Součinitel stírání	[1]
c ₂	Součinitel protlačování	[1]
E	Yongův modul pružnosti	[MPa]
F	Síla	[N]
F _L	Velikost síly lisu	[MPa]
F _T	Stírací síla	[N]
F _{PR}	Protlačovací síla	[N]
F _S	Střížná síla	[N]
HB	Tvrdost dle Brinella	[1]
HV	Tvrdost dle Vickerse	[1]
J	Moment setrvačnosti	[m ⁴]
K	Koeficient opotřebení	[1]
k _s	Střížný odpor	[MPa]
k ₁	Součinitel vniknutí střížných břitů	[1]
l	Délka stříhu	[mm]
L _o	Měřený úsek zkušební tyče	[mm]
L _u	Délka zkušební tyče po přetržení	[mm]
M	Ohybový moment	[Nm]
m _s	Střížná mezera	[mm]
P	Působící síla	[F]
p	Tlak	[MPa]
R _a	Drsnost	[μm]
R _e	Mez kluzu	[MPa]
R _m	Mez pevnosti	[MPa]
R _{p0,2}	Smluvní mez kluzu	[MPa]
S _u	Průřez tyče v místě přetržení	[mm ²]
S _o	Počáteční průřez	[mm ²]
S _s	Plocha stříhu	[mm ²]
t	Tloušťka materiálu	[mm]
v	Střížná vůle	[mm]



W_o	Průřezový modul v ohybu	[m ³]
y	Průhyb	[mm]
z	Hloubka vniknutí břitů do materiálů	[mm]
Z	Kontrakce	[%]
ε	Poměrná deformace	[1]
σ	Normálové napětí	[MPa]

1 ÚVOD [1]

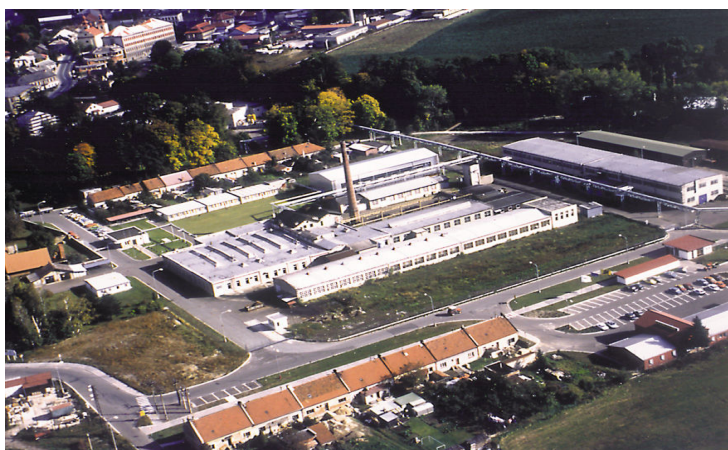
V době kdy konkurenční boj působí na každého výrobce, se výrobci předhánějí v kvalitě dodávaných výrobků a nabízených služeb. Zároveň každý výrobce má snahu o minimalizaci výrobních nákladů. V době kdy nové výrobní technologie se přiblížily praxi je potřeba tyto technologie postupně zařazovat do výrobních činností.

Tato práce byla zadána a vypracována na základě požadavku firmy ŘETĚZY VAMBERK spol.s r.o.(dále jen ŘETĚZY VAMBERK), která se dlouhodobě zabývá výrobou kloubových řetězů. V převážné většině se jedná o hromadnou výrobu, kde každé minimální ušetření výrobních nákladů znamená mnoho. Při děrování vnitřních a vnějších desek řetězu za použití střížníků vyráběných v firmě ŘETĚZY VAMBERK dochází k častému otupení a destrukci stávajících střížníku. To má za následek častou manipulaci s děrovacími nástroji a z toho vyplývají dlouhé přípravné časy na výrobu (vysoké náklady na jeden kus).

Cílem diplomové práce bylo navrhnout možnosti zvýšení kvality střížné plochy a prodloužení životnosti nástroje. Protože pro zjištění kvality střížné plochy firma ŘETĚZY VAMBERK nevlastní žádné zařízení, bylo měření provedeno ve spolupráci s katedrou Strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci, která mi umožnila provést měření v laboratořích.

1.1 Firma ŘETĚZY VAMBERK spol.s r.o. [1]

Firma ŘETĚZY VAMBERK je jedním z největších výrobců válečkových, dopravních, gallových a speciálních řetězů ve střední Evropě. Společnost byla založena v roce 1992 privatizací části Závodů Antonína Zápotockého s.p., kde se začátek výroby řetězů datuje již od roku 1952.



Obr.1.1. Letecký pohled firmy ŘETĚZY VAMBERK s.r.o.

Od svého vzniku se firma orientuje na vysoce kvalitní výrobky, také proto získala v roce 1993 certifikát řízení jakosti ISO 9002, jako jedna z prvních v České republice.

Společnost v současné době zaměstnává 195 zaměstnanců. Celkový obrat za rok 2007 dosáhl 239,5 mil. Kč a bylo vyrobeno 2379 tun řetězů. Cca 80% produkce společnosti je exportováno převážně do zemí EU, ale i do ostatních zemí např. Kanada, Jižní Amerika a další.

ŘETĚZY VAMBERK neustále rozšiřují svůj výrobní sortiment tak, aby byly schopni zcela vyhovět požadavkům zákazníka.

Souhrn základních výrobků společnosti:

- válečkové řetězy DIN 8181, DIN 8187 a DIN 8188
- válečkové řetězy s lomenými články DIN 8182
- fleayerovy řetězy DIN 8152
- pomaloběžné pouzdrové řetězy DIN 8164
- gallovy řetězy DIN 8150
- dopravní řetězy DIN 8565, DIN 8167 a DIN 8168
- speciální řetězy např. pro zemědělství, potravinářský průmysl, pro zemní stroje, pro výrobu izolačních materiálů, poděsné dopravníky, automobilový průmysl a dalších o průmyslových odvětví.

Mezní rozměry výrobků společnosti ŘETĚZY VAMBERK:

- rozteč řetězu 6 – 630mm
- maximální tloušťka desky 19mm
- maximální velikost kladky pr. 200mm
- maximální hmotnost 1500 kg/m

Společnost ŘETĚZY VAMBERK investuje do modernizace výrobního parku a využívá moderní technologie jež umožňují vyrábět vysoce kvalitní výrobky s velkou přesností. Převážná část výrobků je zajišťována vlastními výrobními prostředky.

V poslední době bylo investováno do modernizace výroby točených dílů (čepy, pouzdra a kladky), kde se nakoupily jednoúčelové CNC stroje italské výroby SINICO obr.1.2. Tyto stroje nahradily dříve používané jednoúčelové vačkové automaty.



Obr.1.2. Jednoučelový CNC stroj pro výrobu točených dílů

Kvalitní přesná výroba lisovaných součástí je zaručena vlastním vývojem a výrobou nástrojů za použití lisů LE63 – LE400.



Obr.1.3. Hala pro výrobu lisovaných částí řetězu



Obr.1.4. Sklad lisovacích nástrojů

Tepelné zpracování dílů je prováděno moderní technologií na průběžné peci firmy SOLO. Pro montáž řetězu se používají jak jednoduché montážní přípravky, tak i jednoúčelové montážní automaty.

Pro zajištění kvality řetězů jsou všechny díly kontrolovány odpovědnými pracovníky. Kompletně smontovaný řetěz se přeměřuje na speciálním jednoúčelovém měřícím zařízení obr.1.5.



Obr. 1.5. CNC měřící zařízení

Společnost ŘETĚZY VAMBERK drží své postavení ve velké konkurenci především svými kvalitními výrobky, rychlým dodacím termínem a dobrou poradenskou činností.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Charakteristika dělení materiálu pomocí stříhání [2][4][7]

Kovový materiál je z hutí dodáván v nejrůznější podobě tyče, profily, tabule a pásy. Pro další zpracování ve výrobě jsou vytvořeny polotovary, určitého tvaru a požadované přesnosti, které jsou odděleny od základního kovového materiálu ve většině případů technologií stříhání. Stříhání je beztriskové dělení materiálu. Břity se vtlačují z obou stran postupně nebo současně do materiálu, který oddělují v celém jeho průřezu. Tuto technologii rozdělujeme do dvou skupin:

- objemové stříhání je proces dělení různých profilů (nejčastěji kruhového průřezu) noži, které se míjejí při proměnné stříhané tloušťce materiálu (touto technologií se dále nebudeme zabývat).
- Plošné stříhání je dělení plošného útvaru podle uzavřeného nebo neuzavřeného obrysu při konstantní stříhané tloušťce.

Pro dosažení kvalitního stříhu je potřebné dodržovat potřebné podmínky. Tyto podmínky kladou celou řadu požadavků na nástroj, stroj a obsluhu. Následkem nedodržení těchto podmínek může být nekvalitní střížná plocha ale i zničení nástroje či stroje. Stříhání se provádí nůžkami nejrůznějších typů, nebo zvláštními nástroji – stříhadly. Přehled základních operací je uveden v tab.2.1.

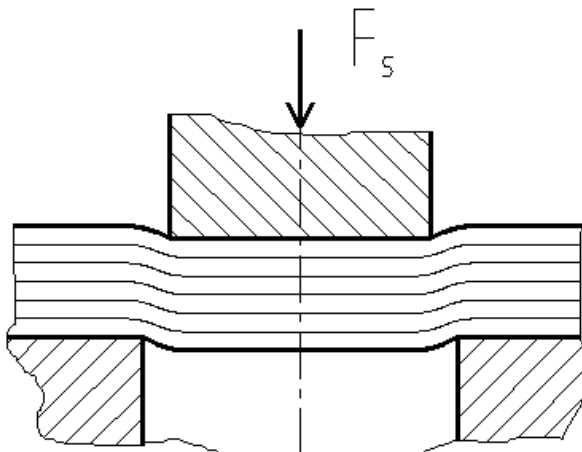
2.2 Proces stříhání

Stříhání je v podstatě proces tváření materiálu do úplného porušení tvářeného objemu. Při stříhání se zatlačují do materiálu proti sobě dvě střížné hrany (nože), jedna je nepohyblivá (pevná) a druhá pohyblivá. Proces stříhu tvářeného materiálu začíná dosednutím střížné hrany na stříhaný materiál a končí oddělením materiálu. Tento proces prochází čtyřmi fázemi :

Tab. 2.1. Přehled základních operací stříhání

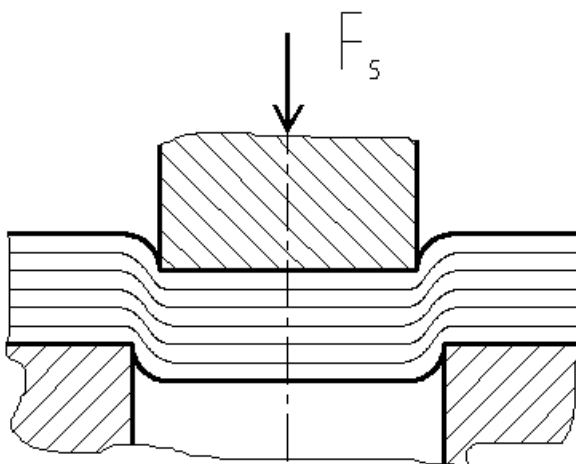
Pořad. číslo	Schéma operace	Název operace	Popis operace	Schéma nástroje
1		Prosté stříhání	Rozdělování materiálu nebo polotovarů na části.	
2		Vystřihování	Vystřížení tvaru z materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výstřížek.	
3		Děrování	Prostřížení otvoru v materiálu nebo polotovaru. Vystřižená část tvoří odpad.	
4		Prostřihování	Částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce.	
5		Prosekávání	Postupné prosekávání vnějších tvarů a otvorů v materiálu.	
6		Ostřihování	Oddělení nerovného okraje nebo přebytečného materiálu plochých, nebo dutých součástí.	
7		Přistřihování	Dosažení přesných rozměrů součástí, hladkého a kolmého povrchu stříhu. Dosáhne se odstraněním přídavku materiálu.	
8		Vysekávání	Oddělování součástí z nekovových materiálů podél uzavřené křivky na podložce.	
9		Přesné stříhání	Výroba přesných součástí s hladkou střížnou plochou.	

1. **pružná fáze** – působením střížníku na materiál, se materiál pružně stlačuje a ohýbá, při čemž se lehce vtačuje do otvoru střížné desky. Napětí v materiálu nedosahuje hodnot meze kluzu ($\sigma < Re$). Při této fázi dochází k vniknutí střížníku do hloubky 5-8% tloušťky materiálu.



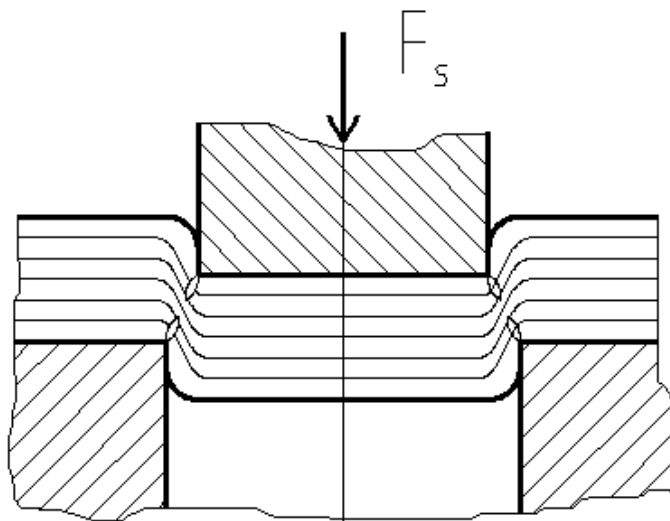
Obr.2.1. První fáze střížného procesu

2. **tvárná fáze** – v tomto úseku tvárných deformací, které jsou trvalé, se vtačuje střížník do materiálu a materiál se vtačuje do otvoru střížné desky. Vlákná materiálu se značně ohýbají a roztahují, napětí je soustředěno na střížných hranách a roste nad mez kluzu. Největší smykové deformace směřují po kluzných čárách (plochách). Toto zapříčiňuje vznik střížné plochy a zaoblení hran. Vniknutí střížníku, které dosahuje hodnoty 10-25% tloušťky materiálu je ovlivněno tvrdostí a tvárností.



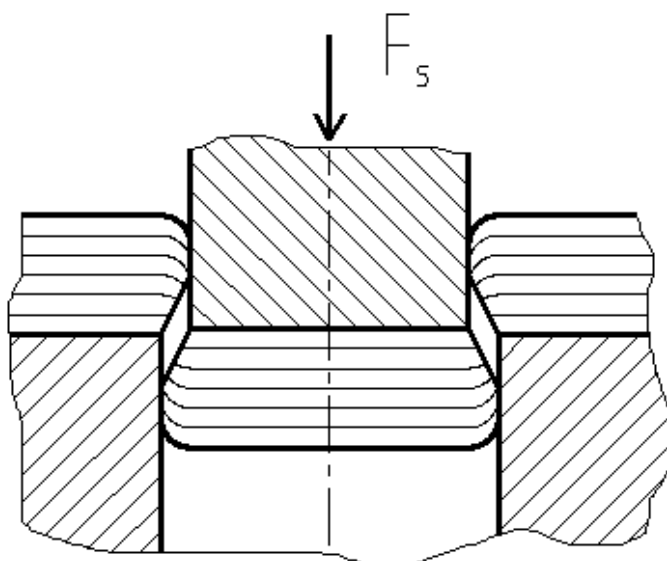
Obr.2.2. Druhá fáze střížného procesu

3. **fáze porušení** – v této fázi tahové napětí dosahuje hodnoty meze pevnosti stříhaného materiálu. V materiálu vznikají mikroskopické a makroskopické trhlinky, tvořící se na střížné hraně a směřující ve směru čar největších smykových deformací (kluzné plochy). Hloubka vniknutí střížníku je přibližně 60% tloušťky.



Obr.2.3. Třetí fáze střížného procesu

4. **fáze oddělení** – při dalším postupu střížníku vznikají další trhlinky, které se rychle rozšiřují na vnitřní vrstvy materiálu a způsobují oddělení materiálu. Rychlost postupu trhlín je závislá na vlastnostech stříhaného materiálu a na velikosti střížné mezery. Tvrdý a křehký materiál se oddělí téměř okamžitě, kdežto měkký a houževnatý poměrně pomalu. Střížník při dalším pohybu protlačuje oddělenou součást ven ze střížné desky.



Obr. 2.4. Čtvrtá fáze střížného procesu

Tvar střížné plochy vysvětlujeme nerovnoměrností rozložení tlaku, který způsobuje změnu směru tahových vláken se vzdáleností od břitu. Trhliny postupují ve směru největšího smykového napětí, v úhlu 45° ke směru tahového napětí.

Hloubku z vniknutí střížníku do materiálu, při kterém dojde k oddělení materiálu (počátek fáze oddělení), závisí na jakosti materiálu vyjádřené koeficientem k_I viz tab.2.2. a na jeho tloušťce t , vyjadřujeme vzorcem:

$$z = k_I t \quad (2.1)$$

Tab.2.2. Součinitel vniknutí střížných hran (břitů)

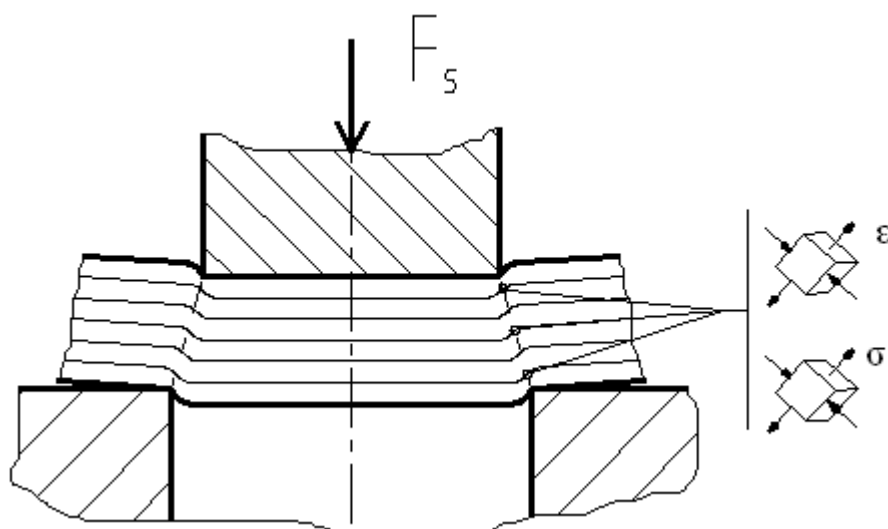
Druh materiálu	Součinitel k_I [%]	
	$t \leq 4$ mm	$t > 4$ mm
Ocel měkká	60 – 45	45 – 35
Ocel středně tvrdá	50 – 35	35 – 20
Ocel tvrdá	35 – 20	20 -10
Mosaz měkká	60 – 50	50
Mosaz tvrdá	30 – 20	20
Hliník měkký	65 – 45	45
Hliník tvrdý	50 – 30	30

Na obr.2.5. je znázorněno schéma deformace a napjatosti, vznikající na kluzných čarách mezi břity střížníku a střížnice. Kluzné čáry ukazují, že vznikají smykové deformace ϵ , poněvadž vlákna stříhaného materiálu, uspořádaná v tomto místě přibližně v úhlu 45° , jsou namáhána na tah a vytahují se, kdežto ve směru svislém jsou silně stlačována. Deformace a pnutí ve směru tečném nejsou velká a lze je proto zanedbat.

Přerušované čáry na obr.2.5., které ukazují směr největších smykových deformací, nazýváme „kluzné čáry“.

Smykové trhliny jsou souhrnem smyků a přetržení v nejdeformovanějších kovových zrnech.

Kov v pásnu stříhu značně změní svou strukturu, což se projevuje vznikem textury s ohnutými a protaženými vlákny, objevují se rozdrobená kovová zrna a zároveň dochází k mechanickým změnám ovlivněného materiálu.

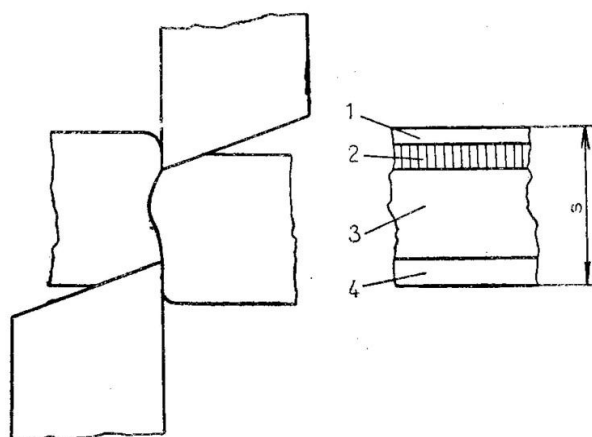


Obr.2.5. Schéma deformace při stříhání

2.2.1 Kvalita střížné plochy

Při běžném způsobu stříhání nedosáhneme kvality povrchu stříhu. Střih dává plochu výstřížku mírně zkosenou s drsným povrchem a vytaženou ostřinou. Střížná plocha je obecně tvořena čtyřmi plochami, viz obr.2.6.:

1. zaoblení vstupní hrany plechu (6% tloušťky materiálu)
2. zatlačení nože do vzniku trhliny (10% tloušťky materiálu)
3. vlastní střížná plocha (80% tloušťky materiálu), tato část je důležitá pro posouzení kvality střížné plochy
4. zatlačení spodního nože (4% tloušťky materiálu)



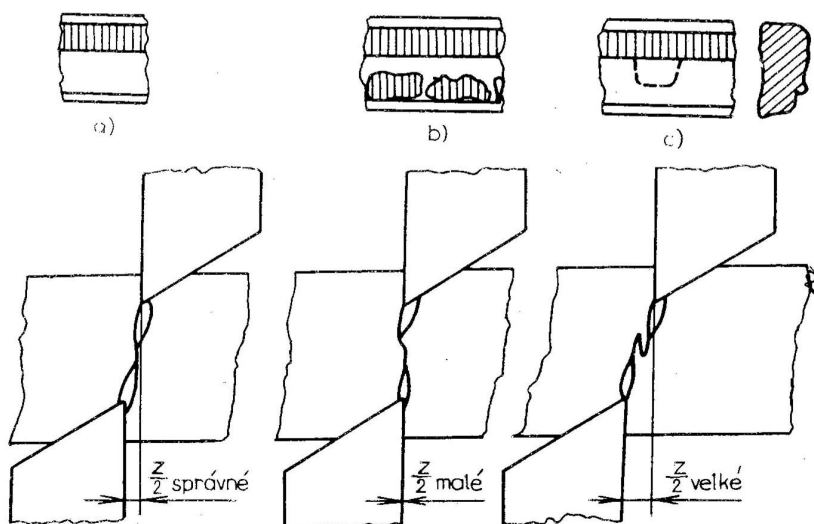
Obr.2.6. Kvalita střížné plochy

Při vystříhování dosahujeme drsnosti plochy $R_a=3,2 - 6,3$ a při děrování $R_a= 2,5 - 6,3$. Přesnost a kvalita střížné ploch závisí na:

1. Vlastnostech stříhaného materiálu.
2. Velikosti střížné plochy – ovlivňuje hloubku nerovnosti plochy, s rostoucí velikostí se hloubka nerovnosti plochy stříhu zvětšuje.
3. Druhu a stavu nástroje
4. Charakteru geometrického tvaru stříhaného obrazce
5. Kvalitě povrchu a přesnosti činných částí střížníku a střížnice

2.2.2 Střížná vůle

Střížná vůle je rozdíl mezi rozměrem střížníku a střížnice, rovná se součtu mezer po obou stranách střížníku. Vůle má velký technologický význam, neboť na její velikosti závisí kvalita výstřížku, trvanlivost lisovacího nástroje, tak i spotřeba energie. Optimální střížná vůle je taková, kdy dosáhneme požadované kvality střížné plochy při minimální střížné síle. Správně volená velikost střížné vůle je když se setkají smykové trhliny vznikající na břitech střížníku a střížnice. Na obr.2.7. je znázorněna velikost střížné vůle, a-optimální střížná vůle, b-střížná vůle malá, c-střížná vůle velká.



Obr.2.7. vliv střížné vůle na kvalitu střížné plochy

Velikost střížné vůle můžeme určit v procentech tloušťky podle druhu stříhaného materiálu, uvedeno v tab.2.3. Nebo se střížná vůle určuje výpočtem podle Oehlera. Pro plech do 3mm je střížná mezera:

$$m_s = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{k_s} \quad /mm/ \quad (2.2)$$

Určení střížné mezery pro plech nad 6mm:

$$m_s = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t - 0,15) \cdot \sqrt{k_s} \quad /mm/ \quad (2.3)$$

Kde v je střížná vůle (mm),

t – tloušťka stříhaného materiálu (mm),

k_s – střížný odpor (MPa),

c - součinitel závislý na stupni stříhu ($c = 0,005 - 0,025$).

Tab. 2.3. Velikost střížné vůle

	Druh materiálu	Střížná vůle [%]	
		Do 2,5 mm	2,5 – 6 mm
	Ocel měkká	5	7 – 8
	Ocel středně tvrdá	6	6 – 8
	Ocel tvrdá	7 -9	7 – 10
	Hliník	4 – 9	5 – 9
	Dural	7 – 8	7 - 10
	Měď měkká	4 – 5	5 - 6
	Měď tvrdá	6 – 7	6 – 7
	Mosaz měkká	4 – 5	4 – 6
	Mosaz tvrdá	5 – 6	5 - 7

2.2.3 Střížný odpor

Střížný odpor k_s je schopnost stříhaného materiálu bránit se proti svému oddělení. Je závislý na mnoha činitelích, především na mechanických vlastnostech a tloušťce stříhaného materiálu. Střížný odpor roste při rostoucí pevnosti R_m a klesající tvárnosti stříhaného materiálu. S rostoucí tloušťkou materiálu střížný odpor klesá. Silnější materiály

vykazují větší tvárnost a menší zpevnění, tenčí materiály jsou náchylné na působení střížných hran. Značný vliv má také střížná vůle. Při optimální střížné vůli je střížný odpor nejmenší. Střížný odpor dále ovlivňují střížné podmínky – rychlost stříhání (s rostoucí rychlostí stříhu roste střížný odpor), velikost tření, chlazení, mazání (při zajištění mazání střížný odpor klesá), stav střížných hran nástroje apod.. Stanovení střížného odporu za působení mnoha činitelů je velmi obtížné, ale pro praktické použití je dostatečná přibližná hodnota stanovená ze vztahu:

$$k_s = \frac{F_s}{S_s} \text{ /MPa/} \quad (2.4)$$

Při stříhání kruhového otvoru je střížný odpor a smykové napětí rozloženo po obvodu rovnoměrně, při složitém tvaru výstřížku je rozloženo nerovnoměrně.

2.2.4 Střížná síla

Střížná síla je důležitá pro určení vhodného lisu. Aby nedošlo k poškození lisu, nesmí velikost a průběh střížné síly překročit jmenovitou sílu lisu. Střížná síla roste do určitého maxima a v okamžiku, kdy vznikne ve stříhaném materiálu trhlinka střížná síla začne klesat. U křehkých materiálů, kde je minimální rozdíl mezi mezí kluzu a pevnosti nastává ustřížení při nepatrném proniknutí střížníku do stříhaného materiálu. U měkkých materiálů s výrazným rozdílem mezi mezí kluzu a pevnosti musí střížník vniknout podstatně hlouběji. Střížnou sílu určíme výpočtem ze vztahu:

$$F_s = k_s S_s K \text{ /MPa/} \quad (2.5)$$

$$S_s = l t \text{ /MPa/} \quad (2.6)$$

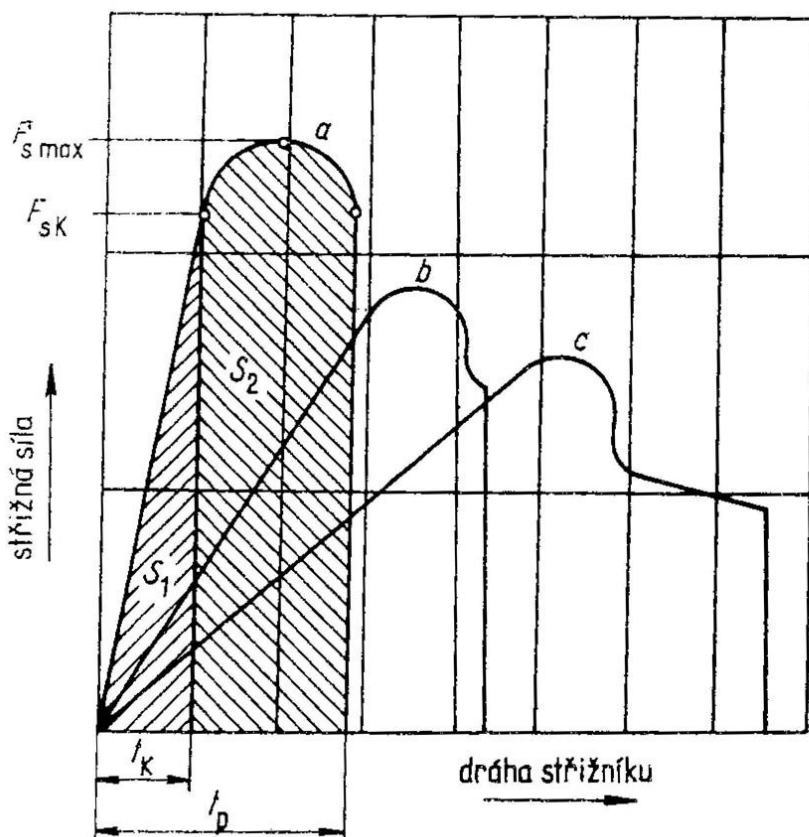
Otupení hran je nežádoucím činitelem, který ovlivňuje střížnou sílu a kvalitu střížné plochy. Proto při výpočtu střížné síly musí být zohledněno opotřebení koeficientem K vycházejícího ze vztahu:

$$K = 1 + 5,5 \frac{r}{t} \quad (2.7)$$

Kde maximální hranice přípustného otupení je dána vzorcem:

$$r = 0,1 t \quad (2.8)$$

Průběh střížné síly v závislosti na dráze střížníku pro různé materiály nám ukazuje diagram na obr.2.8. Křivka *a* znázorňuje materiály s malou tvárností a normální velikostí střížné síly. Křivka *b* zobrazuje průběh střížné síly pro materiály s větší tvárností při velké střížné vůli. Poslední křivka *c* charakterizuje tvárné materiály, ale pro malé střížné vůle. Na diagramu můžeme vidět, že průběh a velikost střížné síly se mění během střížného procesu podobně jako v diagramu smluvních napětí při zkoušce tahem.

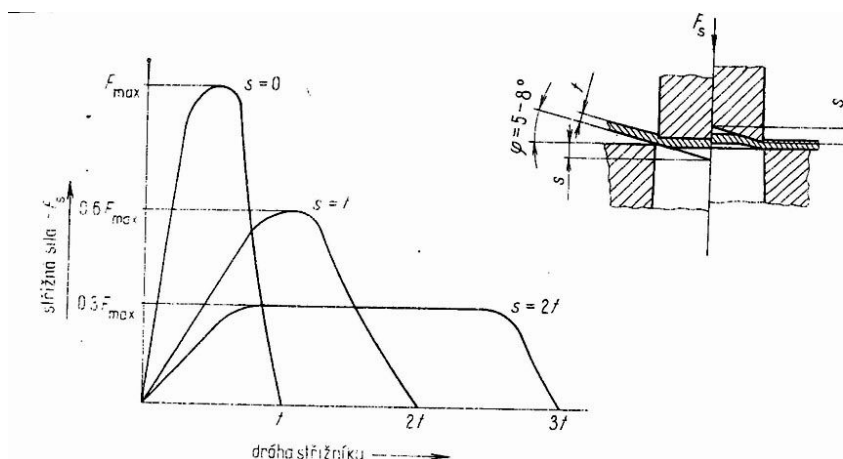


Obr.2.8. Průběh střížné síly v závislosti na dráze střížníku pro různé materiály

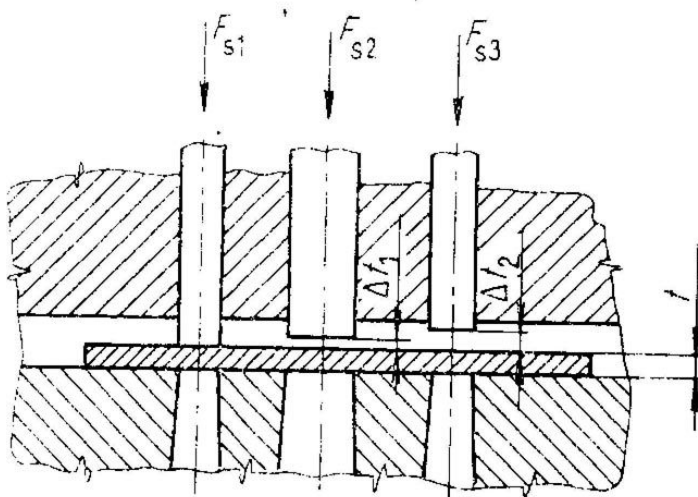
Pro určení potřebného lisu se volí střížná síla obvykle o 20 až 25% větší z důvodů možnosti změny střížných podmínek. Určení velikosti síly lisu F_L určuje vztah:

$$F_L = (1,2 - 1,25) k_s S_s K \quad /MPa/ \quad (2.9)$$

Velikost střížné síly se může zmenšit zkosením střížných břitů obr.2.9., nebo odstupňováním jednotlivých střížníků obr.2.10. Snížení střížné síly je dosaženo postupným stříhem jednotlivých střížníků.



Obr.2.9. Snížení střížné síly zkosením střížných břitů



Obr.2.10. Snížení střížné síly střížníky o různé velikosti

2.2.5 Stírací a protlačovací síla

Při střížném procesu uzavřenou křivkou střížníku ulpí stříhaný materiál vlivem své pružnosti na vnějších plochách střížníku nebo na vnitřních plochách střížnice. Velikost těchto sil je závislé na druhu a tloušťce materiálu, na velikosti střížné hrany, na složitosti tvaru stříhu a na mazání. Velikost stírací síly určíme ze vztahu:

$$F_T = c_1 F_s \quad /N/ \quad (2.11)$$

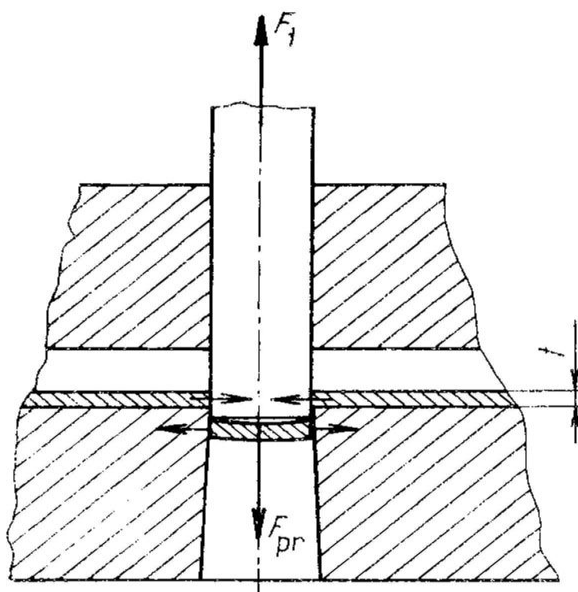
Kde c_1 je součinitel stírání a jeho velikost udává tab.2.4. Určení velikosti stírací síly pro běžné oceli se volí odhadem 10% (zkouškami bylo zjištěno 3-20%) střížné síly. Velikost protlačovací síly vypočteme ze vztahu:

$$F_{pr} = c_2 F_s \quad /N/ \quad (2.12)$$

Velikost součinitele c_2 určíme z tab.2.4. Při přesném stříhání dochází k vyhazování výstřížku zpět přes střížnou desku, tím se značně zvětší vyhazovací síla a součinitel protlačení dosahuje až hodnoty 1. To je způsobeno velkým třením vystřížené plochy o stěnu otvoru střížnice.

Tab. 2.4. Hodnoty součinitelů stírání c_1 a protlačování c_2

Tloušťka materiálu	c_1	c_2
Ocel do 1 mm	0,02 – 0,12	0,005 – 0,08
Ocel 1 – 5 mm	0,06 – 0,16	
Ocel nad 5mm	0,08 – 0,20	
Mosaz	0,06 – 0,07	0,04
Slitiny hliníku	0,09	0,02 – 0,04



Obr.2.12. Stírací síla F_t a protlačovací síla F_{pr}

2.2.6 Střížná práce

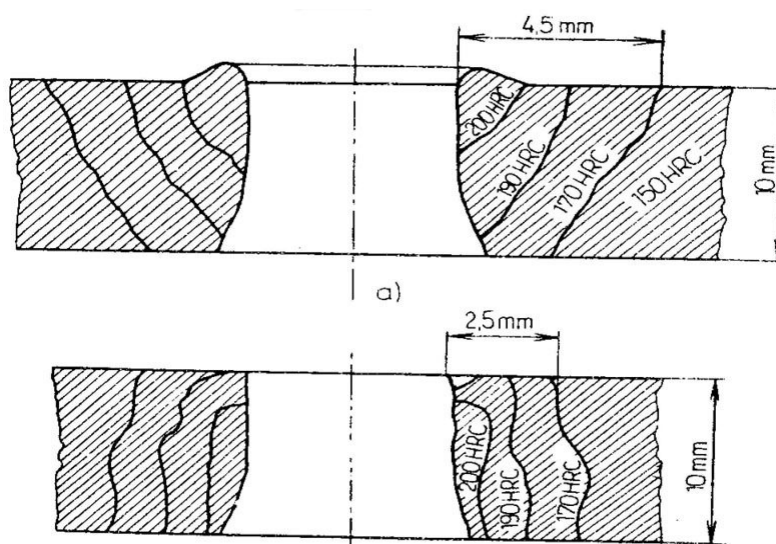
Velikost práce potřebné pro vystřížení výstřížku je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtlačení střížníku do materiálu. V diagramu na obr.2.8. je ohraničena čarou střížné plochy a dráhou střížníku ($s_1 + s_2$ = plocha střížné práce). Velikost střížné práce určíme ze vztahu:

$$A = k_2 F_s t \quad /J/ \quad (2.13)$$

Kde koeficient k_2 hloubky vtlačení, který je závislý na druhu a tloušťce materiálu volíme v hodnotách 0,3 až 0,7.

2.2.7 Vliv rychlosti při stříhání [6]

Rychlost stříhání má vliv na kvalitu střížné plochy, rozložení zpevnění, na potřebnou střížnou práci a životnost nástrojů. Při zvyšování rychlosti beranu u rychlosti $0,001 \text{ ms}^{-1}$ (hydraulický lis) na rychlost $0,3 \text{ ms}^{-1}$ (mechanický lis) a dále na rychlosti 2 až 3 ms^{-1} u rychloběžných vysekávacích lisů se snižuje hloubka oblasti zasažené přetvořením a trvalou deformací. Při rychlostech přesahující tzv. kritickou rychlost nárazu v_k se bude oblast zasažena tvářením rozšiřovat, a materiál houževnatý se v ovlivněné oblasti změní na křehký. Hodnota v_k pro oceli je v rozmezí 50 až 150 ms^{-1} , v případě stříhání vyššími rychlostmi, změní se rozložení zpevnění jak je uvedeno na obr. 2.13.



Obr.2.13. Rozložení zpevnění v okolí stříhu při rozdílných rychlostech

2.2.8 Zpevnění materiálů v okolí střížné plochy

Významnou složkou kvality střížné plochy je také zpevnění povrchu při stříhání. Materiál v pásmu stříhu zvyšuje odpor proti pokračující plastické deformaci, dochází k jeho zpevnění a ke snížení tvárnosti. Maximální hodnoty přetvoření je dosaženo v těsné blízkosti střížné plochy jak ukazuje obr. 2.13. Změna mechanických vlastností v okolí střížné plochy se projeví zvětšením jeho pevnosti, meze kluzu a snížením tažnosti. Velikost zpevněné vrstvy je závislá na tloušťce a vlastnostech materiálu, na původní struktuře, velikosti střížné plochy a stavu střížných břitů. V některých případech zpevnění nemá vliv na další zpracování výstřížků, ale u některých následných operací např. tažení, ohýbání apod. mohou vznikat na deformovaném povrchu nežádoucí trhlinky. Následky zpevnění můžeme odstranit buď vyžiháním, trískovým obráběním, anebo zvolením jiné technologie stříhání např. přesné stříhání nebo přistřihování.

2.2.9 Technologie přistřihování

Technologie přistřihování se využívá tam, kde je požadován čistý kvalitní povrch s větší přesností. Při přistřihování dochází k oddělování malého množství kovu ze střížné plochy obr.2.14. Přistřihování lze teoreticky srovnat s protahováním trnu o jednom zubu. Přistřihovat můžeme dvojím způsobem:

- Přistřihování s kladnou vůlí (mezi střížníkem a střížnicí je střížné mezer)
- Přistřihování se zápornou vůlí (střížník přesahuje střížnici)

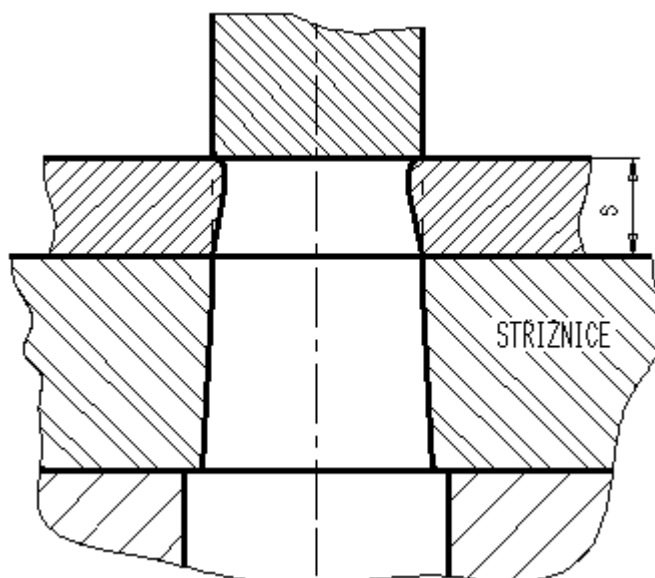
Při přistřihování je celková střížná síla větší o třecí sílu F_t vyjádřené:

$$F_t = S_s p \quad /N/$$

(2.14)

ze vztahu střížné plochy S_s a tlaku p (volí se v rozmezí 10 až 50 MPa)

Pro přistřihování se převážně používá jedné přistřihovací operace, kde přípustná tloušťka odstřížku je 0,1 až 0,5mm. Při přistřihování se získá kvalitní střížná plocha, která dosahuje drsnosti povrch v rozsahu $R_a = 0,8$ až 1,6. Úkos střížné plochy při přistřihování materiálu o síle 10mm dosahuje přibližně 0,02mm.



Obr.2.14 Přistřihování

2.3 Materiály střížných nástrojů[3]

Materiály používané na různé typy nástrojů jsou obecně nazvané nástrojové oceli. Nástrojové oceli se nejčastěji rozdělují podle chemického složení na oceli uhlíkové, slitinové a oceli rychlořezné. Volba použitého materiálu na střížné části závisí především na množství zpracovaných výstřížků, na jejich velikosti a druhu materiálu. Funkční části nástroje jsou namáhány zejména vyššími tlaky a otěrem střížných hran. Zvolený materiál musí být především odolný proti opotřebení, dostatečně pevný a houževnatý. Volbu oceli ovlivňují též místní zvyklosti a vlastní zkušenosti, možnosti dodavatele a mnoho dalších vlivů. Přehled běžně používaných materiálů včetně vhodnosti použití je uveden v tab.2.5.

Kromě těchto materiálů byly vyvinuty slinuté karbidy s obsahem 15 až 30% kobaltu. Slinutými karbidy se dosahuje vyšších výkonů, ale jejich využití v praxi je z důvodu ekonomických až při sérii 700 tisíc kusů součástí.

V poslední době se začalo používat povlakování nástrojů, tj. metoda nanášení povlaků na nástroje ze standardních materiálů nebo slinutých karbidů. Tato metoda si rychle získala svoje využití a to především u řezných nástrojů pro třískové obrábění.

Tab.2.5. Přehled nástrojových materiálů nejčastěji používaných na nástroje

Označení			Chemické složení [%]	Vhodnost použití
Podle ČSN	Poldi	Wst.Nr. (DIN)		
19 312	Stabil	1.2842	0,9C;2Mn;0,2V	Kalené součásti, kalibry, vrtací pouzdra, vodící pouzdra
19 422	EK	1.2063	1,4C;0,4Mn;1,5Cr	Na malé a tvrdé střížníky, měřidla, vrtací pouzdra
19 436	2002	1.2080	2C;12Cr	Na vysoce namáhané a tvarově složité lis. nástroje
19 452	SC	1.2103	0,6C;0,5Mn;1,5Si;0,7Cr	Pružící součásti jako kleštiny, upínací pouzdra
19 573		1.2379	1,4C;0,2Mn;11Cr	Na lis. nástroje pracující za studena, odolné proti lomu
19 655	CNB	1.2767	0,4C;0,5Mn;1,7Cr;3Ni	Nástroje pro tváření za studena, s velkými nároky na houževnatost
19 732	TENAX N	1.2542	0,45C;1Si;1Cr;2W	Razuvzdorná ocel na razníky, razidla pracující za studena
19 810	RADECO	1.3302	1,3C;4,2Cr;11W;4V	Řezné nástroje
19 830	MAX. SPEC. MO5	1.3343	0,85C;6W;4Cr;2V;5Mo	Řezné nástroje. Nástroje na stříhání za studena i tepla

2.4 Základní rozdělení povlaků vytvářené v plynné fázi [8]

V literatuře je uváděno několik hledisek rozdělování povlaků. Charakteristickou vlastností povlaků je jeho tloušťka. Podle této charakteristiky rozdělujeme povlaky do dvou skupin:

- Tenké povlaky jejich tloušťka je zpravidla v milimetrech, ale existují povlaky slabší v nanometrech
- Tlusté povlaky jejich tloušťka bývá udávána v desetinách milimetrů až v milimetrech

Mnohem důležitější dělení povlaků je na povlaky homogenní a heterogenní. Homogenní povlaky jsou tvořeny pouze látkou jednoho typu. Heterogenní povlaky se skládají z více

fází různého složení a vlastností. Pokud jsou fáze uspořádány ve vrstvách, mluvíme o vícevrstevném povlaku.

V praxi je důležité hledisko rozdělení povlaků podle účelu použití. Například povlaky:

- pro lepší odolnost proti korozi, povlaky z čistých kovů (Zn, Sn, Al, Cr, Bi, Cu)
- pro zvýšení odolnosti proti opotřebení
- s vysokou odrazivostí nebo pohltivostí světla
- s definovanými elektrickými, magnetickými nebo jinými fyzikálními vlastnostmi
- s malým nebo velkým součinitelem tření
- apod.

K depozici povlaků byly postupně vyvinuty různé technologie, které se dají velmi zhruba rozdělit do dvou velkých skupin, a to na metody PVD (physical vapour deposition) a na metody CVD (chemical vapour deposition). Další skupinou jsou dnes i jejich smíšené metody, označované jako PECVD (plasma enhanced CVD).

2.4.1 Povlaky PVD [9]

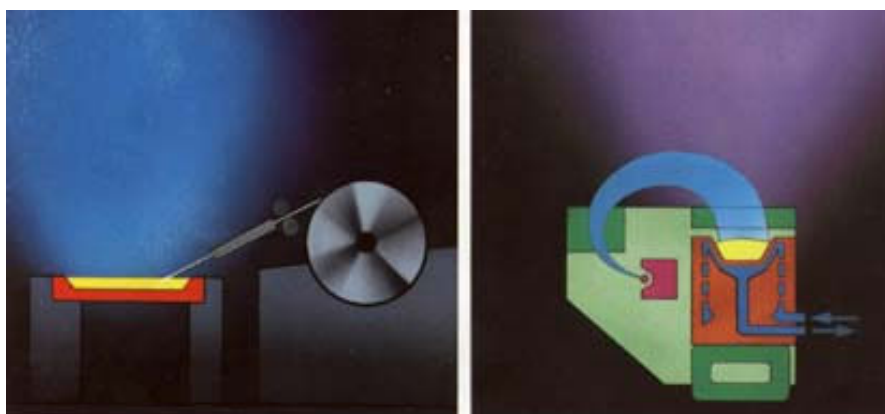
PVD technologie je založena na fyzikálních principech. Charakteristickým rysem je, že povlakovací materiál (Ti, Al, Si, Cr, ..) se v reakční nádobě převádí do plynné fáze pomocí elektronového děla nebo nízkonapěťového oblouku, příp. bombardováním urychlenými ionty inertního plynu. Podmínkou procesu je vakuum (cca 10^{-3} Pa) nebo snížený tlak ochranné atmosféry (zpravidla argonu). Většina povlaků se připravuje metodami reaktivní depozice, při níž se složky potřebné k vytvoření sloučeniny dávkuje v přesném poměru a ke vzniku sloučeniny dochází během transportu částice k povlakovanému materiálu. Urychlované ionty ochranného plynu při dopadu na povlakovaný povrch spolupůsobí pro zlepšení přilnavosti povlaku. Výhodou je podstatné snížení teploty povlakovaného povrchu pod 500°C . Toto snížení teploty umožňuje aplikaci u řady ocelí bez výrazných strukturálních změn na povrchu.

Pro vytváření povlaků používáme dvě metody nanášení: vypařování nebo naprašování.

Metoda vypařování

Vypařování využívá skutečnosti, že bod varu látek klesá s tlakem neboli že tlak nasycených par látky roste s teplotou. Pro získání par pevných látek jsou proto za nižších tlaků třeba podstatně nižší teploty než za atmosférického tlaku.

Základní způsoby ohřevu materiálu nad bod varu jsou znázorněny na obr.2.15. Historicky nejstarší je tento způsob: Materiál je umístěn v kovovém kelímku, kterým prochází silný elektrický proud.



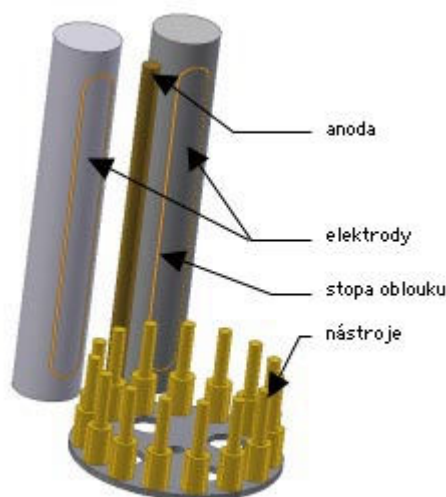
Obr.2.15. Základní způsoby ohřevu materiálu

Kelímek se průchodem proudu ohřívá, předává teplo napařovanému materiálu a ten se po překročení bodu varu vypařuje. Je zřejmé, že pro tento způsob vypařování musí mít vypařovaný materiál nižší teplotu varu, než je teplota tání materiálu vypařovacího kelímku (wolfram 3380 °C, molybden 2610 °C, tantal 2997 °C) a dále nesmí vypařovaná látka s materiálem kelímku tvořit slitinu. Nejnovější vývoj v této oblasti přinesl výrobu vypařovacích kelímků z nitridu boru (teplota tání asi 1400 °C), který je vodivý a netvoří slitiny ani nereaguje s obvykle napařovanými materiály.

Materiály s vysokým bodem varu se s výhodou vypařují pomocí ohřevu elektronovým svazkem. Vypařovaný materiál je umístěn ve vodou chlazeném měděném kelímku a je ohříván dopadem svazku elektronů vysílaném elektronovou tryskou.

Nejrychlejší způsob ohřevu je ohřev nízkonapětovým obloukem. Mezi stěnou pracovní komory (anodou) a vypařovanou elektrodou (katodou) hoří oblouk, který dosahuje teploty okolo 15 000°C. Materiál je odpařován a zároveň ionizován obloukem z elektrod. Ionizovaný materiál (např. Ti^+ , Ti^{2+} , atd.) je urychlován směrem k nástrojům

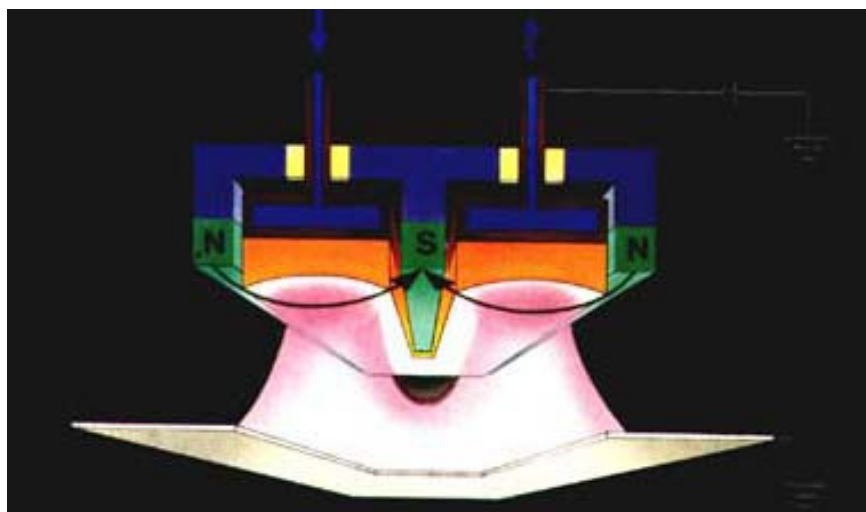
záporným předpětím, které je na ně přiloženo. Cestou ionizuje ještě atomy plyné atmosféry (např. N_2 , Ar, ..). Ionizované atomy po dosažení povrchu nástrojů vytváří povrchovými reakcemi vlastní deponovanou vrstvu. Tento princip je zobrazen na obr.2.16.



Obr.2.16. Princip PVD zařízení

Naprašování

Naprašování je založeno na sekundární emisi iontů. Ionty pracovního plynu jsou urychlovány elektrickým polem a dopadají na povrch naprašovaného materiálu ve formě plochého nebo válcového terče (targetu), viz. obr.2.17. Jejich účinkem jsou z povrchu vytrhávány atomy terče, které se často průchodem oblastí ionizovaného pracovního plynu samy ionizují a dopadají na povrch povlakovaných součástí. Rozsah naprašovaných pevných látek je veliký, vyloučeny jsou jen látky s nízkou tenzí nasycených par za pokojové teploty. Je třeba však rozlišovat látky elektricky vodivé a elektricky nevodivé. V druhém případě musí být zabráněno nabíjení terče použitím střídavého elektrického pole.

**Obr.2.17. Schéma napršování**

V porovnání s CVD technologií nevzniká vůbec nebo velmi omezeně difuzní spojovací vrstva, zůstává ostré rozhraní a adhezní síly jsou realizovány fyzikálním způsobem. Oblouková technologie řeší vyhovující adhezi v několika krocích: odplynění nástrojů při ohřevu (550°C) a evakuaci (10^{-3} Pa) a následně iontovým čištěním s využitím doutnavého výboje a iontového leptání. Obojí poskytuje téměř dokonalé očištění povrchu nástrojů na atomární úrovni, což je základní prvek dokonalou adhezí povlaku.

2.4.2 Povlaky CVD [10]

CVD technologie je založena na chemickém principu, z plynné fáze se vytváří povlak na podložce reakcí chemických sloučenin přiváděných v plynném stavu k povrchu této podložky.

CVD využívá pro depozici směs chemicky reaktivních plynů (např. TiCl_3 , CH_4 , AlCl_3 , apod.) zahřátou na poměrně vysokou teplotu $900 - 1100^{\circ}\text{C}$.

Materiál pro povlaky (titan, hliník, uhlík) je do pracovní komory přiváděn již v plynné fázi - TiCl_4 , AlCl_3 , CH_4 . V komoře se kombinovaným účinkem výboje a vysoké teploty součástí tyto plyny rozkládají, reagují s pracovními plyny a vzniklé sloučeniny (TiN , TiC , TiCN , Al_2O_3) kondenzují na povrchu součástí.

Nevýhodou metody CVD je vysoká teplota potřebná pro rozklad sloučenin (možnost nevratných změn vlastností materiálů), vznik ekologicky závadných vedlejších produktů, omezený rozsah prvků, které mají sloučeniny v plynném skupenství.

Na základě této nevýhody vzniklo poměrně mnoho modifikací této metody, například:

- CVD za atmosférického tlaku (**APCVD** - Atmospheric Pressure CVD) – proces probíhá za atmosférického tlaku
- Epitaxe atomových vrstev (**ALCVD** - Atomic Layer CVD) – při tomto procesu jsou do reakční komory přivedeny dva prekurzory (např. $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ a H_2O). Jeden z prekurzorů se absorbuje na povrchu substrátu, ale ke kompletní dekompozici nedojde bez přítomnosti druhého prekurzoru. ALCVD umožňuje dobrou kontrolu kvality vznikající vrstvy.
- CVD v přítomnosti aerosolu (**AACVD** - Aerosol Assisted CVD) – v tomto procesu je prekurzor dopraven k substrátu ve formě aerosolu, generovaného ultrazvukem.
- CVD organokovových prekurzorů (**MOCVD** - Metal Organic CVD) – jako prekurzory se používají organokovové látky, např. ethoxid tantaličný $\text{Ta}(\text{OC}_2\text{H}_5)_5$ pro přípravu oxidu tantaličného Ta_2O_5
- CVD iniciované plazmou (**PECVD** – Plasme Enhanced CVD) – tato metoda využívá plasmatu pro iniciaci chemických reakcí. K reakci potřebné molekuly plynu se v plasmě štěpí nebo aktivují, proto reakce probíhají za nižších teplot (okolo 550°C). To rozšiřuje možnosti vytváření povlaků na dalších materiálech a potlačuje se i pnutí.

2.4.3 Měření vlastností povlaků [9]

Použití a způsob opotřebení nástroje zásadním způsobem ovlivňují volbu povlaku s ohledem na jeho fyzikální a chemické vlastnosti. Mezi základní fyzikální vlastnosti vrstev patří tvrdost, tloušťka, drsnost, adheze a kluzné vlastnosti. Odolnost proti oxidaci, chemická a tepelná stabilita patří mezi chemické vlastnosti.

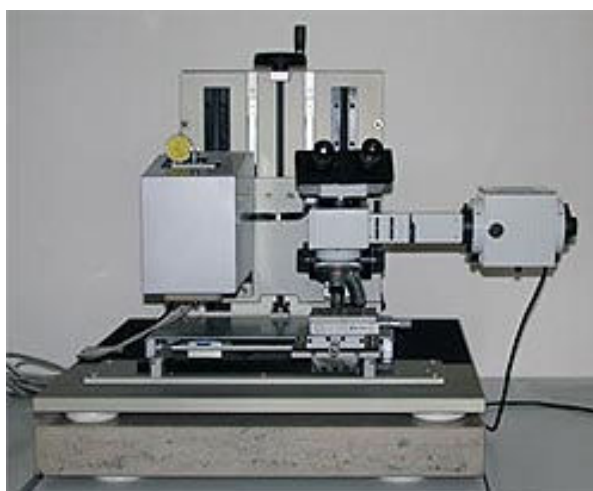
2.4.3.1 *Tvrdost*

Tvrdost je definována jako „odolnost proti pronikání cizích předmětů“. Při měření tvrdosti je potřeba zajistit, aby měřicí hrot proniknul maximálně do 1/10 tloušťky vrstvy. Velikost zátěže při měření tvrdosti se proto volí v řádu desítek mN, aby tvrdost vrstvy neovlivnil podkladový materiál. Vzniklé stopy je velmi obtížné vyhodnocovat mikroskopem. Proto se využívají mikrotvrdoměry, viz obr.2.18., které souběžně se zatěžováním hrotu měří hloubku jeho pronikání do vrstvy s přesností na jednotky nm. Tvrdosti vrstev se udávají v GPa nebo kg/mm^2 . Příklady tvrdosti nejběžnějších vrstev

uvádí tab.2.6. Mezi charakteristické vrstvy s vysokou tvrdostí se řadí diamantové vrstvy, vrstvy s obsahem boru a nanokrystalické nanokompozity.

Tab.2.6. Tvrdosti nejběžnějších vrstev

vrstva	TiN	TiCN	CrN	TiAlN	DLC	TiAlSiN
tvrdost [GPa]	23	30	17	33	25	45

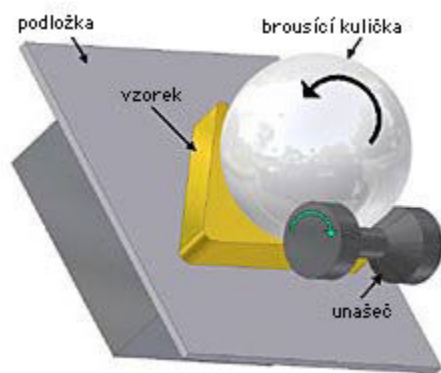
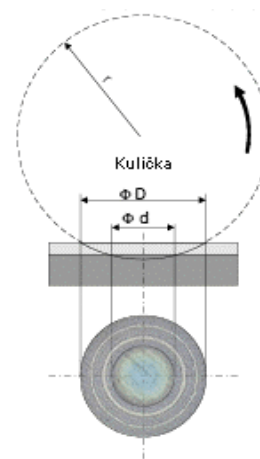


Obr.2.18. Mikrotvrdoměr

2.4.3.2 Tloušťka

Z hlediska praktické aplikace je volba tloušťky povlaku jedna z nejdůležitějších charakteristik. V současnosti neexistuje pro vyhodnocení tloušťky povlaku přesná, jednoduchá a zároveň nedestruktivní metoda. Pro měření rovinných částí se využívá tzv. kalotest. Pro stanovení ostatních tlouštěk se používá klasická metalografie založena na leštění vybrané části.

Princip kalotestu: pomocí rotující kuličky obr. 2.19. s diamantovou pastou dochází k proletění nanesené vrstvy a části substrátu. Z průměru kuličky a mikroskopem změřených kulových vrchlíků obr. 2.20. je možné výpočtem stanovit tloušťku nanesené vrstvy.

**Obr.2.19. Princip kalotestu****Obr.2.20. Měření proletěné vrstvy**

2.4.3.3 Drsnost

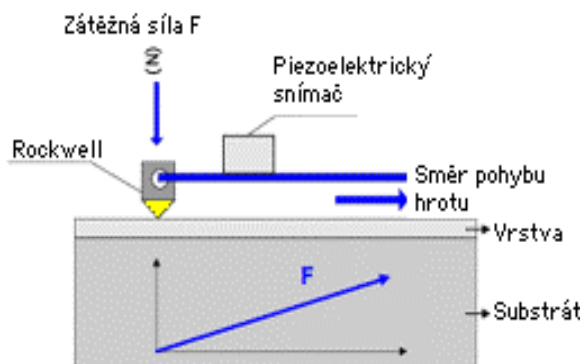
Drsnost je souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají při výrobě nebo jejím vlivem. V případě nanášení vrstev je drsnost způsobená jak vlastním opracováním nástroje, tak i nanášeným povlakem, který je deponován na nástroj. Při měření drsnosti se neuvažují vady povrchu, tj. náhodné, ojedinělé se vyskytující a nepravidelné nerovnosti (rysky, trhlinky, důlky apod.), které vznikají v důsledku vad materiálu, poškozením aj.

Drsnost povlaku zvyšuje řezné síly, a tak dochází k tepelnému a mechanickému namáhání břitů nástrojů. Tento negativní jev se většina výrobců vrstev snaží eliminovat technologií povlakování nebo dodatečnou úpravou nástrojů. Z důvodu eliminace vlivu předchozího opracování nástroje se provádí měření drsnosti běžným dílenským drsnoměrem (obr.2.21.) na speciálně leštěných etalonech jejichž výchozí drsnost R_a je 0,01-0,02 μm . Měřená výsledná drsnost není pak ovlivněna opracováním původního nástroje, ale jen vznikající vrstvou.

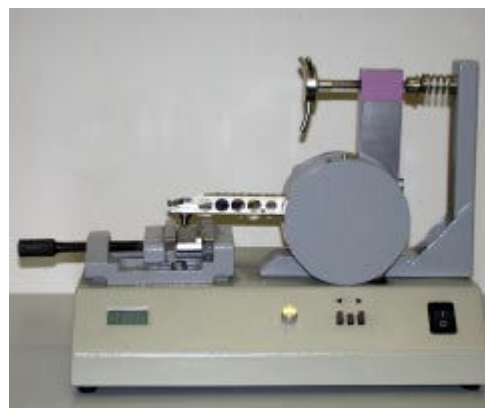
**Obr.2.21. Dílenská drsnoměr**

2.4.3.4 Adheze

K maximálnímu využití potenciálu otěruvzdorné vrstvy dojde pouze v případě, kdy je perfektně zajištěna její adheze k nástroji. Bez řádné přípravy nástroje před povlakováním nelze připravit kvalitní povlak. Standardní metodou pro vyhodnocování přilnavosti povlaku je tzv. scratch-test obr.2.23. Pro měření se využívá principu postupně se zvyšující zátěžné síly na diamantový Rockwellův hrot při současném posouvání špičky hrotu po měřené vrstvě, schéma je zobrazeno na obr.2.22. S ohledem na běžné velikosti přilnavosti se prakticky používá zátěžná síla v rozsahu 20 - 120N. Při měření vrstvy je možné detekovat akustickou emisi na hrotu. Dosažení kritické hodnoty zátěžné síly dojde k odtržení vrstvy od substrátu. To je doprovázeno skokovým zvýšením hodnoty akustické emise. Pomocí mikroskopu se na stopě vytvořené hrotem odečte místo, kde dojde k odtržení vrstvy. Při lineární závislosti na zátěži lze pak snadno určit kritickou hodnotu zátěže. Hodnota adheze větší než 60N zajišťuje, že při běžných aplikacích nedojde ke stržení či odloupení vrstvy.



Obr.2.22. Princip scratch-test



Obr.2.23. zařízení pro měření scratch-test

2.4.3.5 Kluzné vlastnosti

Pro změření kluzných vlastností je používáno standardem v laboratoři tzv. pin-on-disk, resp. ball-on-disk. Testovaná vrstva je nanесena na zkušební vyleštěný vzorek a následně umístěna na otočný stolek. Hrot, resp. kulička definovanou silou tlačí na rotující vzorek s testovaným povlakem. Měří se otěr kuličky, frikční koeficient, otěr vrstvy, profil otěru apod. Při měření pin-on-diskem se používá zátěžné síly v řádu jednotek N, zatímco při řezných zkouškách jsou řezné síly o dva řády vyšší. Navíc teplota generovaná při

běžných řezných podmínkách je o několik set stupňů vyšší než při testech pin-on-disku. Proto tato metoda pro praxi je málo využitelná, ale k porovnání různých typů vrstev a získání představy o jejich kluzných vlastnostech je dostatečná.

2.4.3.6 Odolnost vůči oxidaci

K opotřebení vrstvy dochází také oxidací. Důležité je rozlišovat oxidaci povrchovou, kde dochází k pasivaci povrchu čímž se může vytvářet bariera proti další oxidaci. Nebo hloubkovou, kde obvykle dochází k destrukci vrstvy, která je provázena poklesem tvrdosti. Každá vrstva je charakterizována maximální teplotou použití, jejíž mez je dána odolností proti oxidaci.

K měření odolnosti vůči oxidaci se většinou používá gravimetrická metoda, kde se hodnotí změna hmotnosti vrstvy v závislosti na teplotě účinkem vzdušného kyslíku. Podmínkou je že, celý testovaný vzorek bude celoplošně pokryt zkoumanou vrstvou.

2.4.3.7 Chemická a tepelná stabilita

Chemická stabilita popisuje odolnost vrstvy vůči chemické reakci s obráběným materiálem, zejména za vyšších teplot vznikajících během obrábění.

Povlak je termodynamicky nestabilní, a při zvýšení teploty vlivem obrábění může docházet ke změně vnitřní struktury, např. nárůstem krystalů, přechodem k jinému krystalickému uspořádání, změnou vnitřního napětí apod. Tyto charakteristiky, které se projevují změnou mechanických vlastností, se vyhodnocují pomocí TEM (transmisní elektronová mikroskopie) nebo XRD (rentgenová difrakce). Tyto analýzy je možné provádět pouze na specializovaných pracovištích.

2.5 Základní vlastnosti kovů a jejich zkoušení [11]

Účelem zkoušení materiálu je ověření některých vlastností materiálu prostřednictvím působení statického, dynamického a cyklického namáhání. Získané hodnoty požadovaných vlastností materiálu lze porovnat s hodnotami bezprostředně nutnými a požadovanými v technické praxi.

Vlastnosti materiálu dělíme na:

Fyzikální – charakterizují chování materiálu při fyzikálních změnách (teplotní roztažnost, tepelná vodivost atd.)

Chemické – charakterizují chování materiálu při chemických změnách (koroze atd.)

Mechanické – charakterizují chování materiálu při mechanickém namáhání vnějšími silami (pevnost, tvrdost, pružnost, houževnatost)

Technologické - charakterizují chování materiálu při daném technologickém zpracování (slévatelnost, svařitelnost, obrobitelnost, atd.)

Tyto vlastnosti se sledují provozními nebo laboratorními zkouškami. Tím se stanoví, zdali materiál má požadované vlastnosti pro dané použití. Vlastnosti materiálu jsou nejčastěji uvedeny v technicko-dodavatelských předpisech nebo v ČSN, které sjednocují sjednané podmínky mezi odběratelem a výrobcem.

Zkoušky materiálu se dělí:

- Chemické – určují chemické složení materiálu
- Hodnocení struktury (makrostruktury, mikrostruktury)
- Fyzikální
- Fyzikálně-chemické
- Technologické
- Mechanické
- Defektoskopické

Mechanické zkoušky

Jsou důležité z hlediska pevnostních výpočtů strojních součástí.

Zkoušky statické – namáhání zkušebního vzorku se děje vnější klidovou silou nebo silou plynule se měnící. Tato síla vyvolává deformace (změny tvaru vzorku) až do jeho porušení. Jsou to tzv. zkoušky destruktivní, kdy se materiál znehodnotí.

Podle působící síly se dělí na:

- zkoušku tahem
- zkoušku tlakem
- zkoušku ohybem
- zkoušku krutem
- zkoušku stříhem

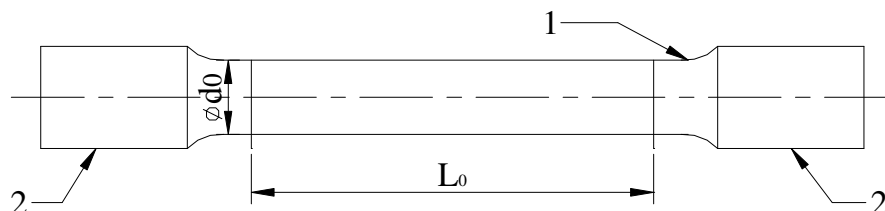
Zkoušky dynamické a cyklické – na zkušební vzorek působíme, buď rázovou silou, nebo opakujícím se zatěžováním a odlehčováním zkušebního tělíska. Sledujeme pak počet cyklů odlehčení a zatížení při určitém charakteru namáhání do vzniku prvních trhlinek na zkoušeném tělese. Při všech těchto zkouškách může hrát velkou roli také teplota (pak lze dělit zkoušky za normální teploty, za zvýšené teploty, za nízké teploty). V této kapitole se budeme zabývat zkouškami za normální teploty (tj. 20°C).

Zkoušky tvrdosti – statické
– dynamické

2.5.1 **Zkouška tahem (ČSN 42 0310)**

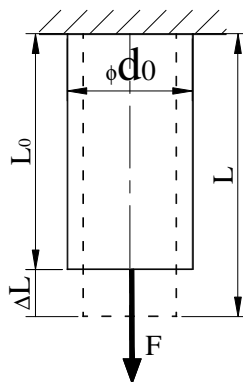
Tahová zkouška je jednou z nejdůležitějších zkoušek. Je založena na postupném zatěžování zkušební tyče, která má normalizovaný tvar, tahovým napětím až do jejího přetržení. Účelem této zkoušky je zjistit mechanické hodnoty materiálu při namáhání jednoosým tahem. Tento jednoosý tah je realizován plynule se zvyšující silou vyvozenou trhacím strojem.

Pro zkoušku v tahu existují dva základní druhy zkušebních tyčí – dlouhé a krátké. Rozměry zkušebních tyčí jsou uvedeny v normě ČSN 42 0310.



1 – dílek tyče 2 – upínací část tyče do trhacího stroje

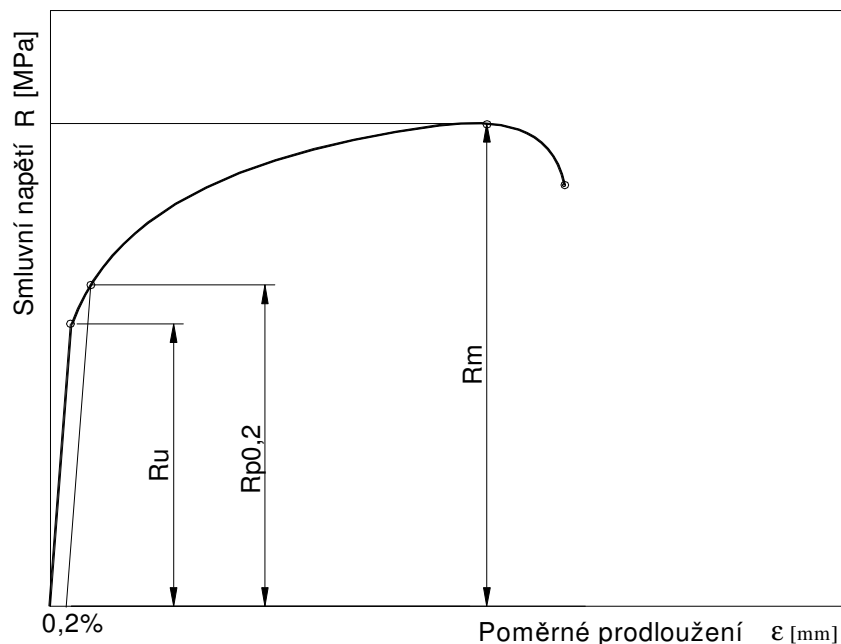
Obr. 2.24. Schématické znázornění zkušební tyče



Obr.2.25. Schématické znázornění chování zkušební tyče při zkoušce tahem

Začne-li na tyč působit osová tahová síla F , způsobuje v tělísku napětí. Napětí vyvolává deformace a tyč se začne natahovat a zužovat (platí zákon zachování objemu) až do přetržení. V okamžiku přetržení má tyč délku L_u a průřez S_u .

Lze zjistit prodloužení tyče ϵ nebo absolutní prodloužení tyče ΔL . Pracovní diagram tahové zkoušky sleduje závislost, buď smluvního napětí a poměrného prodloužení nebo síly a prodloužení tyče. Více používaný je diagram napětí – poměrné prodloužení.



Obr. 2.26. Pracovní diagram zkoušky tahem pro ocel

Na pracovním diagramu lze vyznačit čtyři důležité meze, které jsou takto definovány:

R_u – mez úměrnosti - je to maximální napětí, do kterého platí Hookův zákon

$R = E \cdot \varepsilon$ (to je rovnice přímky procházející počátkem). Napětí je přímo úměrné prodloužení. E – Youngův model pružnosti.

R_p – mez pružnosti – je maximální napětí, po které vznikají pouze pružné deformace. Těžko se zjišťuje, a proto se definuje smluvní mez pružnosti $R_{0,005}$ – napětí, které po odlehčení tyče zanechá trvalou deformaci zkušební tyče 0,005 % původní délky L_0 .

R_e – mez kluzu - je napětí, při němž se v materiálu objevují první plastické deformace, v praxi se zavádí smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ – napětí, které zanechává trvalou deformaci tyče 0,2 % L_0 .

R_m – mez pevnosti – je největší napětí, které materiál vydrží bez porušení. V tomto okamžiku se začne na tyči vytvářet nápadné zúžení (krček), část energie se spotřebovává na tvorbu krčku, nastává pokles napětí a přetržení tyče.

Při zkoušce tahem se vyhodnocuje:

$$\text{Mez pevnosti} \quad R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \text{ /MPa/} \quad (2.15)$$

$$\text{Mez kluzu} \quad R_e = \frac{F_e}{S_0} \text{ /MPa/} \quad (2.16)$$

Tažnost A je poměr prodloužení tyče po přetržení k počáteční délce tyče, vyjádřený v procentech:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ /\%/} \quad (2.17)$$

Dále tažnosti zavádíme index (A_5 , A_{10}), zda byla získána na krátké nebo dlouhé tyči.

Kontrakce Z je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení ($S_0 - S_u$) k původnímu průřezu tyče S_0 , vyjádřeného v procentech:

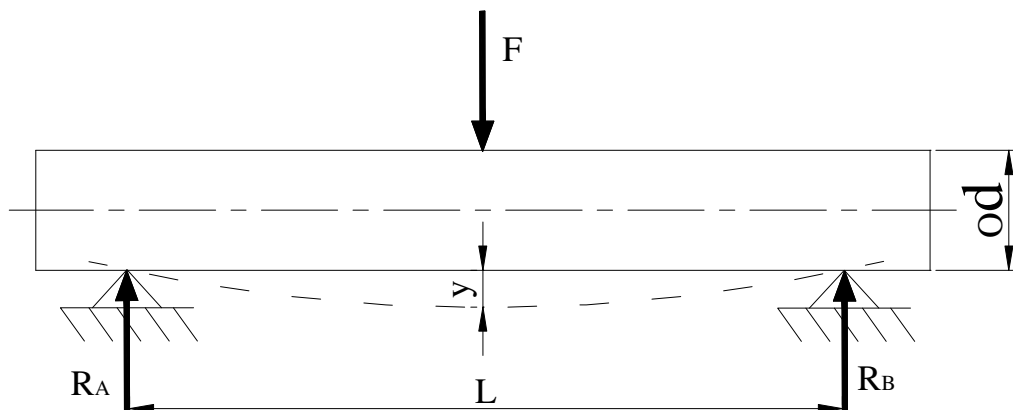
$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \text{ /\%/} \quad (2.18)$$

Tvar pracovního diagramu se mění podle druhu zkoušeného materiálu. Některé materiály vykazují výraznou mez kluzu (např. ocel) a některé materiály jsou bez výrazné meze kluzu (litina).

2.5.2 Zkouška v ohybu

Tato zkouška se používá pro křehké materiály. Houževnaté materiály se ohýbají tak snadno, že lom vůbec nemusí nastat.

Zkušební tyč nejčastěji $\varnothing 30 \times 600$ pokládáme na dvě podpory a zatěžujeme ji osamělou silou ve středu mezi podporami. Schématické znázornění zkoušky je na obr.2.27.



Obr. 2.27. Schématické znázornění zkoušky v ohybu

R_A, R_B - reakce v podporách

L - vzdálenost podpor

$M_{o \max}$ - maximální ohybový moment

F - síla, která vyvolá v podporách reakce $R_A, R_B = F/2$

Maximální ohybový moment je pod zátěžovou silou:

$$M_{o \max} = R_A \cdot \frac{L}{2} = \frac{F \cdot L}{4} \quad (2.19)$$

Ohybové napětí se rovná:

$$R_{m0} = \frac{M_o}{W_o} \quad (2.20)$$

M_o - ohybový moment /N . m/

W_o – průřezový modul v ohybu /m³/, který se vyjádří jako:

$$W_o = \frac{J}{z_{\max}} \quad (2.21)$$

J – moment setrvačnosti průřezu k neutrální ose /m⁴/

z_{\max} – vzdálenost krajního vlákna od neutrální osy /m/

Průřezový modul pro kruhový profil $\varnothing d$ je:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \text{ /m}^3/ \quad (2.22)$$

Průřezový modul pro obdélník šířky b a výšky h je:

$$W_o = \frac{b \cdot h^2}{6} \text{ /m}^3/ \quad (2.23)$$

Namáháme-li průřez materiálu na ohyb, jsou pak horní vlákna tlačena a spodní tažena. Ohybové napětí je tedy kombinací tahu a tlaku.

Při pozvolně rostoucím zatížení odměřujeme průhyb tyče y až do okamžiku než se tyč přelomí. Průhyb y je dán vztahem:

$$y = \frac{F \cdot L^3}{48 E J} \quad (2.24)$$

Kde F – zátěžná síla

L – zkušební délka tyčinky (vzdálenost podpěr)

E – Youngův modul pružnosti

J – moment setrvačnosti

Z této závislosti poměrně snadno zjistíme hodnotu E u křehkých materiálů.

2.5.3 Zkoušky tvrdosti

Tvrdost je jednou z důležitých vlastností všech druhů materiálů. Tvrdost vyjadřuje odpor, který klade materiál proti vnikání cizího tělesa (při zkoušce se tomuto tělesu říká indentor). Jednou z možných zkoušek tvrdosti materiálu jsou tzv. vnikací zkoušky, které jsou nejpoužívanější a dle indentoru zkoušky rozdělujeme podle:

Brinella

Rockwella

Vickerse

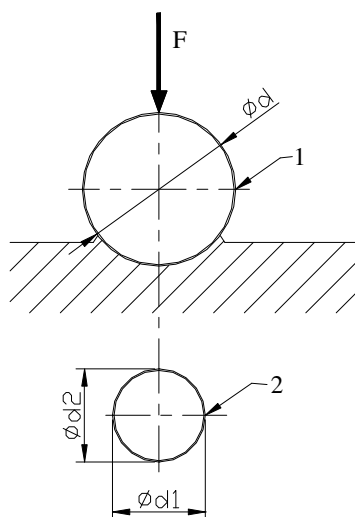
2.5.3.1 Zkouška podle Brinella (ČSN 42 0371)

Do hladké, rovné plochy na zkoušeném předmětu se vtlačuje kalená ocelová kulička přesně daného průměru po určitou dobu za působení potřebného nastavitelného tlaku. Používané průměry kuliček jsou 1; 1,5; 2,5; 5; 10.

Pro měkké materiály se používá největší průměr. Zátěžná síla je závislá na průměru kuličky. Pro zkoušení ocelí se určí průměr kuličky ze vzorce:

$$F = 30 D^2 \quad (2.25)$$

Doba působení síly je dána druhem zkoušeného materiálu, pohybuje se v rozmezí 10 až 180 s. Měkčí mají delší dobu působení, tvrdší kratší dobu. Pro oceli se nejčastěji užívá doba 30 s.



Obr. 2.28. Schématické znázornění zkoušky podle Brinella

Při provedení zkoušky vzniká ve zkoušeném materiálu kulový vrchlík (důlek). Pro vyhodnocení zkoušky měříme průměr vtisku d .

Číslo tvrdosti se vypočítá podle vzorce:

$$HB = F/S \quad (2.26)$$

H – tvrdý

F – zátěžná síla

S – plocha kulového vrchlíku

D – průměr kuličky

d – průměr vtisku

Z hlediska co nejpřesnějšího stanovení průměru vtisku se měří dva na sebe kolmé směry ze kterých se vypočte aritmetický průměr. Další možností u této zkoušky tvrdosti, která se v praxi nejvíce používá je stanovení tvrdosti materiálu dle průměru vtisku a daného zatížení za použití tabulek, které jsou přiloženy ke každému přístroji pro měření tvrdosti.

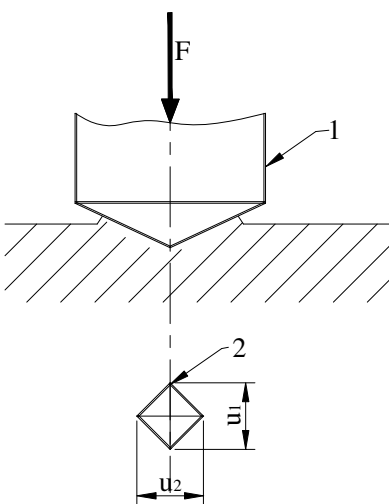
2.5.3.2 Zkouška podle Vickerse

Tato zkouška je jedna z nejpřesnějších a nejvíce používaných. Do opracované hladké plochy zkoušeného materiálu vtlačujeme za použití zátěžné síly F (10, 20, 50, 100, 300, 500, 1000) N čtyřboký diamantový jehlan se čtvercovou základnou o vrcholovém úhlu 136° . Čas zátěže se volí od 10 do 180 s. Pro tvrdé materiály se použije kratší čas, pro měkké materiály delší čas. Delšího času je nutno použít z důvodu vyrovnání plastické deformace materiálu. Výsledkem měření je zjištění velikosti úhlopříček vtisku po odlehčení.

Tvrdost podle Vickerse se zjistí poměrem zatěžovací síly a povrchu vtisku:

$$HV = F/S = 1,854 \cdot F/u^2 \quad (2.27)$$

Dle příslušného středního rozměru úhlopříček se určí hodnota tvrdosti. Pro oceli je nejpoužívanější zatížení 300 N.



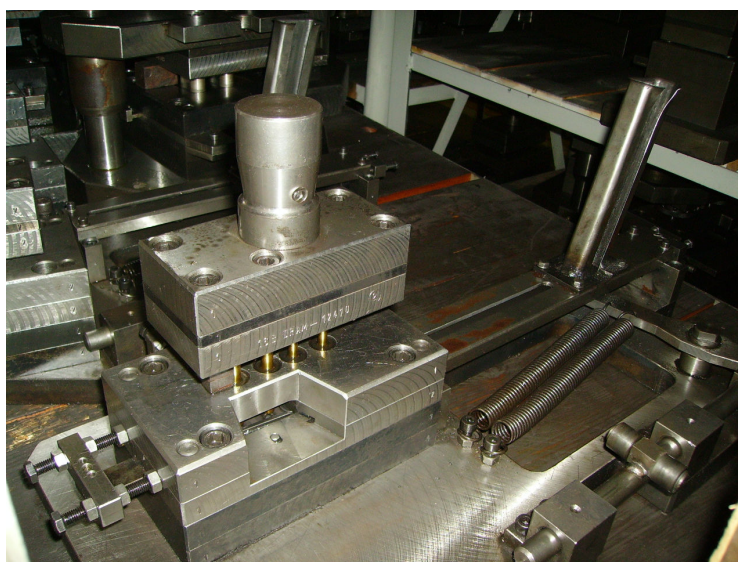
Obr. 2.29. Schématické znázornění Vickersovy zkoušky

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Na základě původního zadání zadavatele diplomové práce firmy ŘETĚZY VAMBERK bylo cílem diplomové práce prověřit možnosti zkvalitnění střížné plochy a prodloužení životnosti střížného nástroje za použití povrchových úprav střížníků.

V průběhu řešení této práce byl rozsah zkoušek stanoven na jeden nečastěji stříhaný materiál C 45 (označení dle EN), na kterém proběhly zkoušky stříhání za použití různě upravených střížníků. Povrchovou úpravou střížníků byly zvoleny dvě moderní metody povlakování, metody PVD (physical vapour deposition) a PECVD (plasma enhanced CVD). Pro posouzení kvality střížné plochy byla zvolena operace děrování (přistřihování), která následuje po předděrování v jednom nástroji tzv. automatu obr.3.1.

Hlavním parametrem životnosti nástroje, byla stanovena závislost velikosti vystřiženého otvoru, která je omezena rozměry kalibru, na množství vystřižených vzorků.



Obr.3.1. Automatické děrovadlo

Všechna nastavení a měření byla provedena ve shodě se standardními podmínkami provozu fy. ŘETĚZY VAMBERK.

V experimentální části pro zvolený materiál byly zhotoveny vzorky pro jednotlivé střížné nástroje. Na zhotovených vzorcích bylo provedeno měření daných rozměrů a provedena zkouška tvrdosti.

3.1 Příprava vzorků

3.1.1 Volba materiálu a střížného procesu

Ve firmě ŘETĚZY VAMBERK se zpracovávají procesem stříhání různé druhy materiálů z větší části od zahraničních dodavatelů viz. tab. 3.1. o tloušťkách od 2 až do 19mm. Nejčastěji používaným materiálem na destičky řetězu je materiál C 45, z toho důvodu byl zvolen pro experiment tento druh materiálu.

Tab.3.1. Používané materiály ve firmě ŘETĚZY VAMBERK

Jakost oceli			Chemické složení v %							
ČSN	DIN W.Nr.	EN	C<	Si<	Mn<	P<	S<	Cr<	Ni<	Mo<
11 373	1.0036	S235JRG	0,21		1,5	0,55	0,55			
11 523	1.0570	S355J2G3	0,2	0,55	1,6	0,04	0,04			
12 050	1.0503	C45	0,5	0,4	0,8	0,045	0,045	0,4	0,4	0,1
14 140	1.7034	37Cr4	0,41	0,4	0,9	0,035	1,2			
14 260	1.7102	54SiCr6	0,59	1,6	0,8	0,03	0,03	0,8		
15 142	1.7225	42CrMo4	0,45	0,4	0,9	0,035	0,035	1,2		0,3

Pro kvalitu řetězu jsou jedny z nejdůležitějších parametrů rozměry a kvalita roztečných otvorů destiček řetězu. Proto se převážná část roztečných otvorů vyrábí dvěma operacemi stříhání:

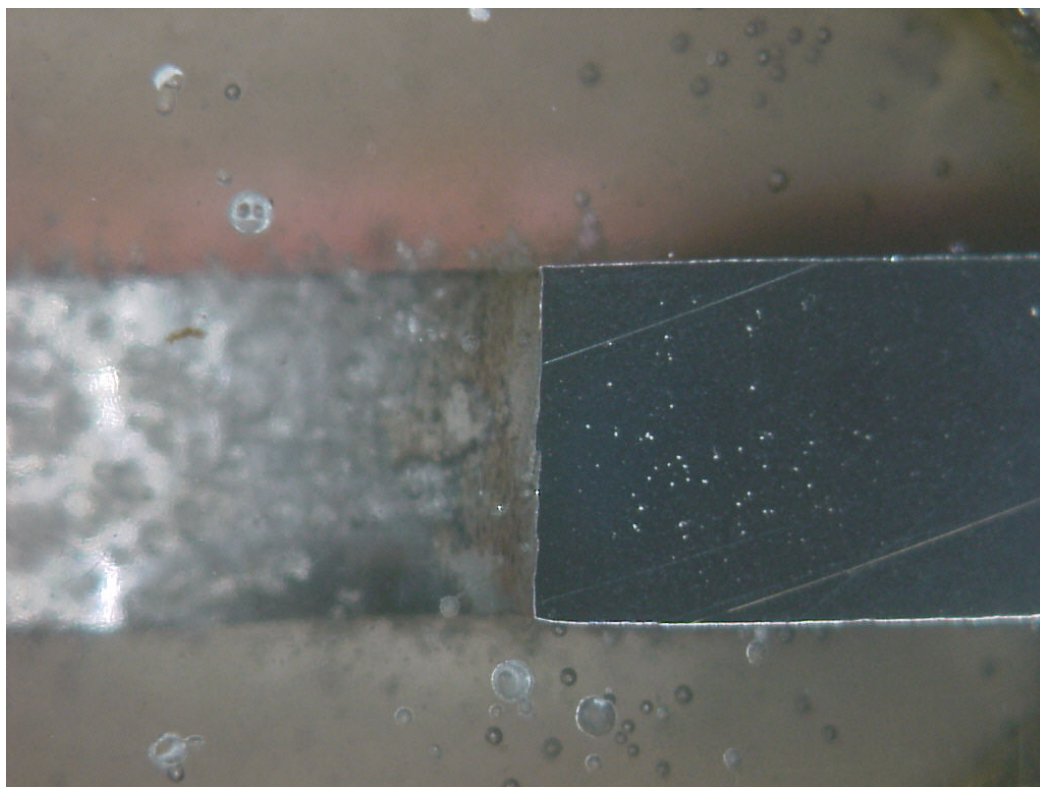
- První operace je děrování do plného materiálu se střížníkem menším než je skutečný rozměr otvoru. Pro tuto operaci se používá zkosení střížníku, které umožňuje zmenšení střížné síly a zlepšuje plynulost stříhu.

Při operacích děrování bylo použito střížné vřle vypočtené dle tloušťky materiálu, voleno 7 – 12% tloušťky viz příloha P1 (interní předpis pro volbu střížné mezery ve firmě ŘETĚZY VAMBERK). Pro děrování destičky vnitřní řetězu 24B o síle 6mm bylo použito střížné vřle 0,72mm, tato střížná vřle odpovídá 12% síle materiálu. U operace děrování bylo použito střížníku o průměru 17,40mm.

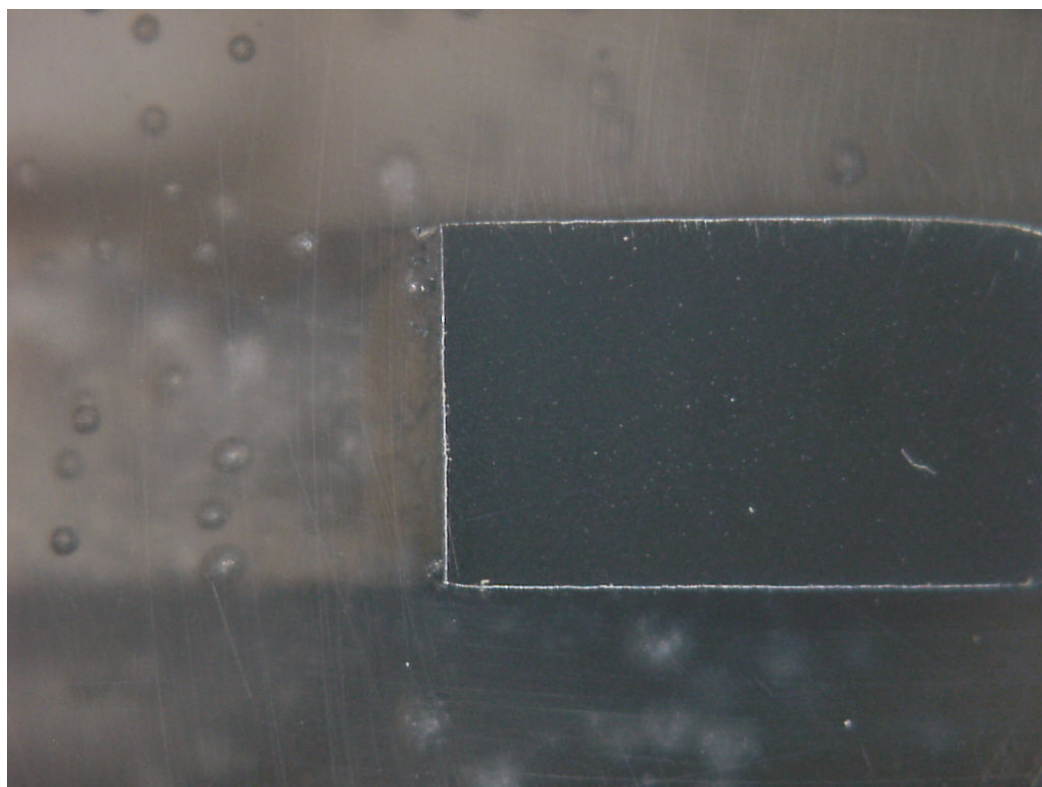
Při této operaci dochází k deformaci vrchní části otvoru (vytvoří se tzv. rádius) a podtržení otvoru. Oba tyto aspekty jsou zřetelně ukázány na obr. 3.2 a pro zajištění celkové kvality řetězu jsou nežádoucí.

- Druhá operace je přistříhování již předděrovaného otvoru na skutečný rozměr otvoru. Tato operace odstraní nežádoucí deformovanou část a podtržení otvoru po děrování a zkvalitní střížnou plochu. Po operaci přistříhování je střížná plocha válcová jak je zřejmé na obr. 3.3

Pro operace přistříhování byla zvolena střížná vůle 0,1mm dle tloušťky stříhaného materiálu viz. příloha P1. Pro přistříhování bylo použito střížníku o průměru 18,92mm. Z rozdílu hodnot střížníků vyplynulo, že velikost přistříhovaného materiálu (stěny prstence) je 0,76mm.



**Obr.3.2. Vzorek po procesu děrování, kde je patrná deformace
hrany otvoru a podtržení otvoru**



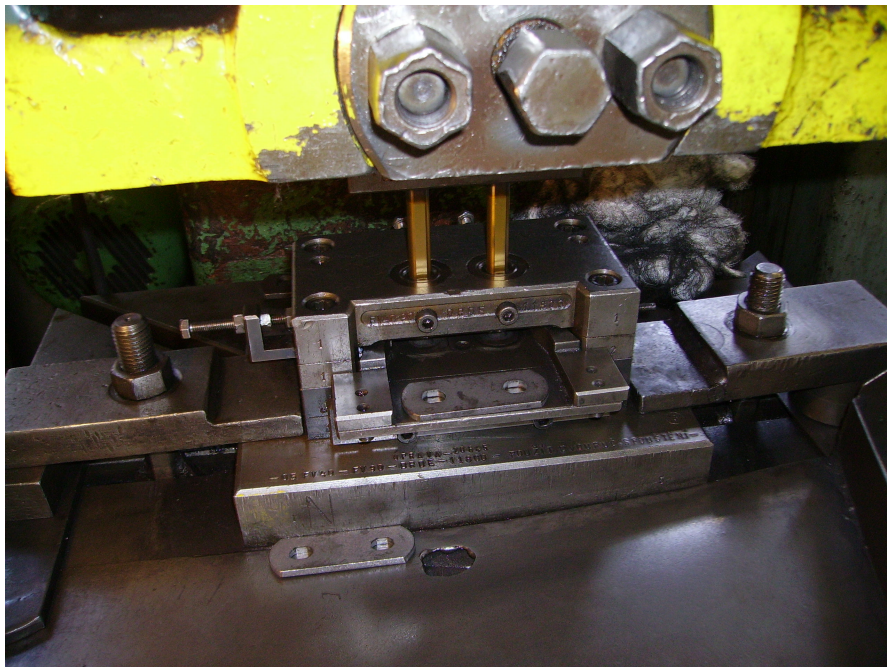
Obr.3.3. Výlisek po procesu přistříhování

Pro tyto operace stříhání firma ŘETĚZY VAMBERK používá buď dva samostatné nástroje obr.3.4. s různými průměry střížníku nebo tzv. automatické děrovaadlo, které je v principu vyrobeno jako postupový nástroj viz obr.3.5. Pro experiment bylo zvoleno automatické děrovaadlo na výrobu součástí řetězu 24B (dle normy DIN 8187), ve kterém jsou vyráběny podstatně větší série výrobků. V tabulce 3.2. jsou stanoveny rozměry, které při procesu stříhání destičky vnitřní pro řetěz 24B nelze překročit. Koncový rozměr otvoru 18,92mm byl v průběhu výroby vzorků kontrolován kalibrem. Rozměr 17,40mm po operaci děrování není podstatný proto se nekontroluje.

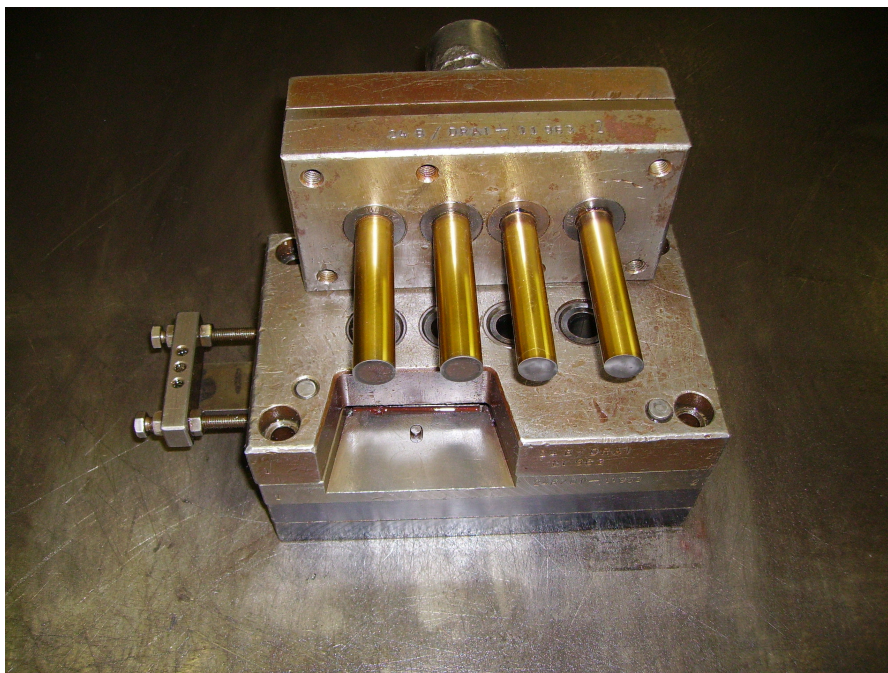
Tab.3.2. Rozměry stříhaných vzorků

Střížný proces	Model řetězu	Tloušťka materiálu	Jmenovitý rozměr otvoru	Minimální rozměr otvoru	Maximální rozměr otvoru
děrování	24B - DI	6	17,40	nehodnoceno	nehodnoceno
přistříhování	24B - DI	6	18,92	18,855	18,93

Všechny vzorky v experimentu byly zhotoveny na jednom strojním zařízení (lis LE 160) pro zachování stejných podmínek stříhání (opotřebovanost stroje, rychlost stříhání apod.). Všechny nástroje byly před započítím výroby vzorků zkontrolovány dle výkresové dokumentace a nabroušeny.



Obr.3.4. Nástroj na děrování upnutý na lisu



Obr.3.5. Automatické děrovadla pro výrobu otvorů

3.1.2 Volba povlaků na střížný nástroj

Po vytipování dvou firem SHM s.r.o. a VÚHŽ, a.s. zabývajících se povlakováním řezných a tvářecích nástrojů a následnou konzultací s pracovníky těchto firem byly doporučeny a vybrány tyto povlaky:

- povlak firmy SHM Šumperk za použití metody PVD
Firmou SHM bylo doporučeno použít povlak LUBRIK G na standardně vyráběný střížník z materiálu 19 810 ve firmě ŘETĚZY VAMBERK.
Povlak LUBRIK G je kluzná vrstva, která se nanáší jako závěrečná část povlaku MARVIN G.
Technická specifikace vrstvy:
Hloubka 2 – 3 μm , tvrdost 33 GPa,
- povlak firmy VÚHŽ Dobré za použití metody PECVD
Firmou VÚHŽ bylo doporučeno použít kompletně zpracovaný střížný nástroj jejich firmou. Nástroj byl vyroben z materiálu 19 830 a následně tepelně zpracován novou technologií (ve firmě ŘETĚZY VAMBERK tepelné zpracování pouze klasickou metodou). Na nástroj byla doporučena sendvičová vrstva TiCN nanášená za teploty 520°C.
Technická specifikace vrstvy:
Hloubka 3 - 4 μm , tvrdost 30 GPa,

3.1.3 Materiál střížného nástroje

Pro střížný nástroj (střížník) bylo použito dvou materiálů:

- Materiál 19 810 – tento materiál je dlouhodobě používán ve firmě ŘETĚZY VAMBERK na střížníky. Tepelné zpracování je prováděno klasickou metodou na vlastním zařízení.
- Materiál 19 830 – doporučený materiál firmou VÚHŽ. Tepelné zpracování provedeno novou technologií (přesně řízený proces ve vakuu).

Tab.3.3. Chemické složení materiálů použitých střížníků

Jakost oceli			Chemické složení v %							
ČSN	DIN W.Nr.	Poldi	C<	Si<	Mn<	W<	V<	Cr<	Ni<	Mo<
19 810	1.3302	RADECO	1,3			11	4	4,2		
19 830	1.3343	MAX. SPECI. MO5	0,85			0,6	2	2		5

3.1.4 Druhy použitých střížníků

Pro porovnání kvality střížné hrany a životnosti střížníků byly vyrobeny vzorky čtyřmi typy střížníků:

1. Střížník vyrobený ve firmě ŘETĚZY VAMBERK z materiálu 19 810, ale bez následného povlakování. Vzorky označeny značkou A.
2. Střížník vyrobený ve firmě ŘETĚZY VAMBERK z materiálu 19 810, ale následně povlakovaný vrstvou LUBRIK G zhotovenou ve firmě SHM Šumperk. Před výrobou vzorků nedošlo k nabroušení břitu. Vzorky označeny značkou B.
3. Střížník vyrobený ve firmě VÚHŽ Dobré z materiálu 19 830, včetně povlakování sendvičovou vrstvou TiCN. Před výrobou nedošlo k přebroušení břitu, čelo střížníku zůstalo povlakované vrstvou. Vzorky označeny značkou C.
4. Střížník vyrobený ve firmě VÚHŽ Dobré z materiálu 19 830, včetně povlakování sendvičovou vrstvou TiCN. Před výrobou došlo k přebroušení břitu, čelo střížníku není opatřeno povlakovanou vrstvou. Vzorky označeny značkou D.



Obr.3.6. Pokovený a nepokovený střížník

3.2 Měření vzorků

3.2.1 Měření rozměru vzorku

Všechny typy vzorků byly měřeny třídítkovým mikrometrem, viz. obr.3.7. a to jak na straně horní (vtlačení střížníku) označované číslem 1, tak na straně dolní označované čísle 2. Jednotlivé výsledky byly zapsány do jednotlivých tabulek. Pro metody označené A a B bylo stanoveno odebírání vzorků v cyklu po 1000 ks, u metod C a D byl zvolen cyklus po 4000 ks.



Obr.3.7. Měření vzorku třídotykovým mikrometrem

Tab.3.4. Naměřené hodnoty vzorku A

Odebr. kus	1	1000	2000	3000	4000	5000
1	18,913	18,92	18,915	18,91	18,91	18,90
2	18,92	18,935	18,93	18,925	18,92	18,92

Odebr. kus	6000	7000	8000	9080		
1	18,90	18,88	18,87	18,858		
2	18,93	18,91	18,91	18,90		

Tab.3.5. Naměřené hodnoty vzorku B

Odebr. kus	1	1000	2000	3000	4000	5000
1	18,92	18,92	18,915	18,913	18,91	18,91
2	18,925	18,93	18,93	18,925	18,92	18,92

Odebr. kus	6000	7000	8000	9000	10000	11000
1	18,902	18,90	18,88	18,87	18,868	18,85
2	18,92	18,925	18,90	18,90	18,89	18,89

Tab.3.6. Naměřené hodnoty vzorku C

Odebr. kus	1	4000	8000	12000	16000	20000
1	18,92	18,91	18,91	18,905	18,90	18,902
2	18,925	18,92	18,925	18,92	18,915	18,92

Odebr. kus	24000	28000	32000	36000	40000	44000
1	18,895	18,892	18,88	18,875	18,87	18,855
2	18,91	18,912	18,90	18,89	18,89	18,88

Tab.3.7. Naměřené hodnoty vzorku D

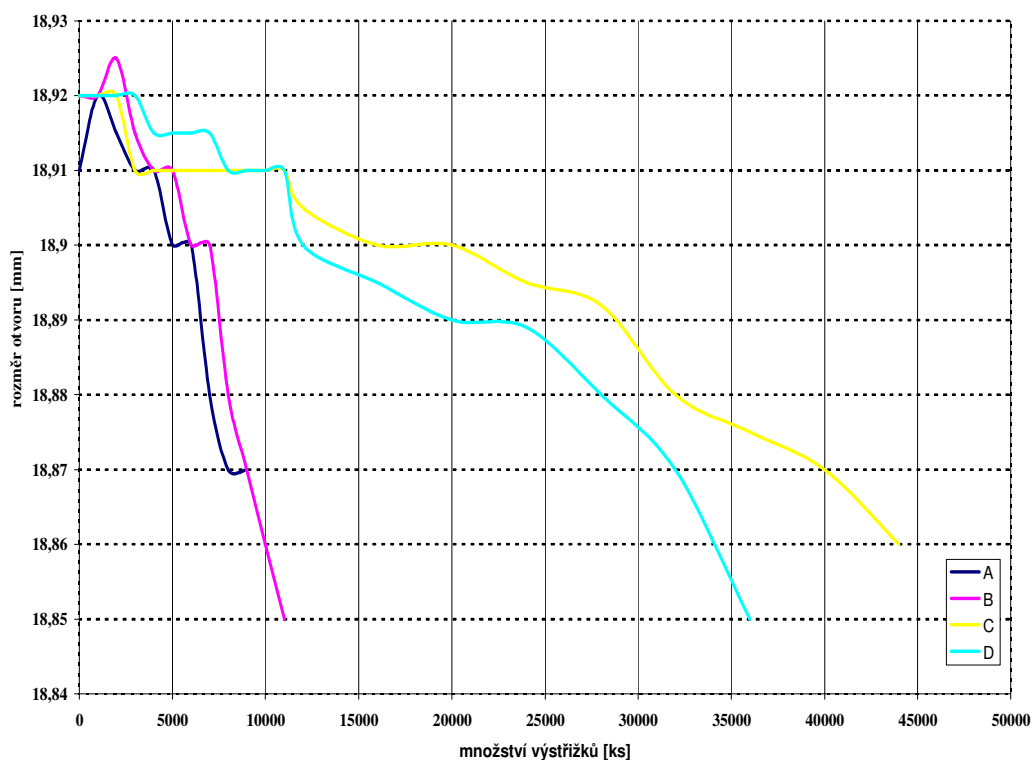
Odebr. kus	1	4000	8000	12000	16000	20000
1	18,92	18,915	18,91	18,90	18,895	18,89
2	18,925	18,925	18,92	18,92	18,915	18,905

Odebr. kus	24000	28000	32000	36000	40000	44000
1	18,89	18,88	18,87	18,85		
2	18,905	18,90	18,895	18,87		

Pro ukončení jednotlivých výrobních dávek vedli různé aspekty opotřebení:

- První typ výroby vzorku označený metodou A, byl ukončen na základě vznikajících velkých ostřin na spodní hraně výstřížku.
- Druhý typ výroby označený metodou B, důvodem ukončení metody bylo vyštípnutí břitu střížníku.
- Třetí typ označený metodou C, k ukončení výroby došlo vlivem překročení předepsaného rozměru otvoru.
- U čtvrtého typu výroby vzorku označeného metodou D, došlo k ukončení také vlivem překročení předepsaného rozměru.

Z naměřených hodnot pro jednotlivé typy vzorků byla sestavena závislost změny rozměru otvoru na množství stříhaných vzorků. Tato závislost je graficky znázorněna na obr. 3.8.



Obr. 3.8. Graf závislosti rozměru otvoru na množství zhotovených vzorků

3.2.2 Měření tvrdosti vzorku

Pro ověření stejných nebo podobných mechanických vlastností materiálu použitých na výrobu vzorků, aby byla zachována objektivnost pro jednotlivé metody, bylo zvoleno měření tvrdosti dle Brinela. Tvrdoměr pro měření je vidět na obr.3.9. Z hodnot tvrdosti lze v přepočítávací tabulce zjistit orientační pevnost materiálu.

Pro zkoušku byla použita kulička o průměru 2,5mm a zatěžovací síla 1875N. Tvrdost byla měřena na jednom náhodném místě a jednotlivá měření jsou uvedena v tabulce naměřených hodnot v příloze P2.

Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že hodnoty tvrdosti materiálu se pohybují v relativně úzkém pásmu od 207 do 229 HB. Tyto hodnoty ukazují podobnost vlastností materiálu použitého na výrobu vzorků.



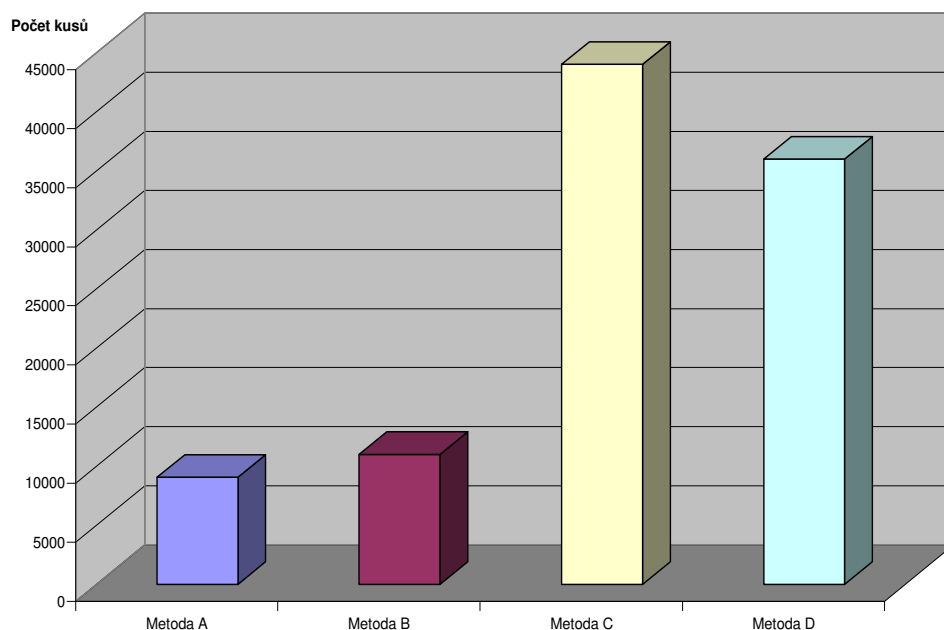
Obr.3.9. Univerzální stroj pro zkoušení tvrdosti

3.3 Diskuse získaných výsledků

Z dosažených výsledků by se dalo konstatovat, že vliv povrchové úpravy střížníků na kvalitu střížné plochy při technologii přistřihování je zanedbatelný.

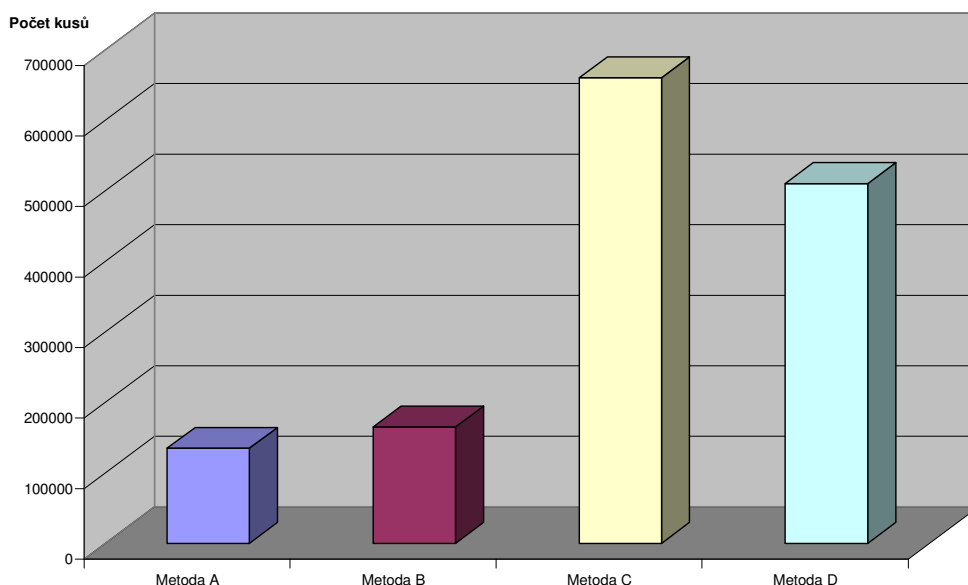
Vlivů na kvalitu střížné plochy je mnoho a v praxi se tyto vlivy nedají jednoznačně eliminovat. Jedním z hlavních činitelů jsou mechanické vlastnosti materiálu, které jsou odvislé od jednotlivých dodávek a především růzností dodavatelů. Tomuto vlivu nelze zabránit. Dalším vlivem bývá celkový stav opotřebení nástroje, tento vliv lze vcelku dobře eliminovat kvalitní údržbou daných nástrojů. Vliv na kvalitu a životnost nástroje má také strojní zařízení. Jednotlivé lisy jsou opotřeby různým způsobem a toto nese, že na každém lisu mohou být jiné problémy s kvalitou výstřížku. V neposlední řadě se musíme zmínit o vlivu zvolené technologie. Technologie stříhání a přistřihování je dlouhodobě ověřenou technologií ve firmě ŘETĚZY VAMBERK. Na otázku používání přesného stříhání musíme odpovědět, že firmě ŘETĚZY VAMBERK je tato technologie známá. Kvalita výstřížků touto technologií je jednoznačně vyšší, ale návratnost investovaných prostředků do této technologie není z důvodů orientace firmy na speciální řetězy, které nelze vyrábět v tak rozsáhlých dávkách.

V našem případě tedy bylo hlavním cílem porovnat životnost střížníku za použití povrchových úprav PVD a PECVD. Výsledky množství vyrobených vzorků za použití jednotlivých metod výroby byly zadány do grafu, viz obr.3.10. Z tohoto grafu je patrné, že nejlepší výsledky dosahuje metoda C. Z porovnávacího grafu životnosti střížníku na množství zhotovených vzorků můžeme říci, že částečná životnost nástroje (při jednom nabroušení nástroje) s povlakem PECVD s porovnáním stávající výroby střížníků ve firmě ŘETĚZY VAMBERK je cca 5x vyšší.



Obr.3.10. Porovnání částečné životnosti střížníků

Celková životnost jednotlivých střížníků lze určit z orientačního předpokladu, že jednotlivé střížníky můžeme až 15x brousit. Celková životnost je zobrazena v grafu na obr.3.11 a je pouze teoretická. Výroba vzorků pomocí metody C je v praxi obtížná a těžko využitelná. Důvodem nevyužitelnosti metody C je, že po otupení břitu střížníku dochází k jeho nabroušení a muselo by dojít k opětovnému pokovení, kde cena pokovení střížníku je cca 500,-Kč/ks. Při porovnání výsledku životnosti metod C a D můžeme říci, že pokovení střížníku po každém ostření nástroje by bylo neefektivní. Z toho důvodu se jeví metoda D pro praxi optimálním řešením.



Obr.3.11. Celková životnost střížníků

Z teoretických zdrojů vyplývá, že rozdíl mezi zvolenými povlaky, které jsme zvolili je minimální a je závislí na typu použití.

Z provedené zkoušky můžeme usuzovat, že nezáleží jenom na vrstvě použitého popvlaku, ale i na nosném materiálu nástroje.

Okrajově zde musíme zmínit také ekonomiku výroby střížníku určených pro jednotlivé metody. Cena střížníku kompletně vyráběného ve firmě ŘETĚZY VAMBERK pro metodu A je 425,-Kč/ks. Cena střížníku pro metodu B je cena střížníku A + cena povlakování, celková cena střížníku pro metodu B je 925,-Kč/ks. Kompletně zpracovaný střížník firmou VÚHŽ Dobrá byl dodán za 1000,-Kč/ks.

Z těchto údajů můžeme říci, že s nástroji opatřenými povrchovou úpravou dojde k celkovému snížení nákladů na výrobu střížníků.

4 ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce bylo zjištění vlivu povrchové úpravy střížníků na kvalitu střížné plochy a na životnost nástroje.

Z vybraného materiálu C45 byly zhotoveny vzorky nástroji bez povrchové úpravy a s povrchovou úpravou PVD a PECVD. Hlavním parametrem životnosti nástroje, byla stanovena závislost velikosti vystřiženého otvoru, která je omezena rozměry kalibru, na množství vystřižených vzorků.

Kvalita střížné plochy u operace přistříhování byla u všech zkoušek podobná, z toho vyplynulo, že povrchová úprava nemá zásadní vliv na kvalitu střížné plochy. Ze subjektivního zjištění má povrchová úprava vliv na stírací sílu.

Z porovnání jednotlivých výsledků výroby vzorků je zřejmé, že použití povlaku metodou PVD na střížníky z materiálu 19 810 vyrobené ve firmě ŘETĚZY VAMBERK nezvýšil požadovanou životnost střížníku. Z hlediska životnosti střížníku byla metoda povlakování povlakem PECVD hodnocena úspěšně. Proto doporučuji využívat střížníků povlakovaného povlakem PECVD u často opakující se výroby výstřižků.

Tato diplomová práce řeší pouze problematiku vlivu povrchové úpravy střížníků na kvalitu střížné plochy a jeho životnost. Tímto se pouze podařilo naznačit, že kvalita střížníků vyráběných ve firmě ŘETĚZY VAMBERK z materiálu 19 810 a následné tepelné zpracování klasickým způsobem nedosahuje kvalit tepelného zpracování ve vakuu. Do budoucna by bylo zajímavé zaměřit se též na povrchovou úpravu střížnic a vedení střížníku.

Pro další postup doporučuji pokračovat v ověřovacích sériích stříhání střížníkem s povlakem PECVD od firmy VÚHŽ, a.s., kde bylo získáno pozitivních výsledků. Též doporučuji provést nezávislou zkoušku stříhání střížníkem vyrobeným ve firmě VÚHŽ, a.s., ale bez následného pokovení a zhodnotit rozdíl životnosti střížníku.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] <http://www.retezy-vam.com>, duben 2008
- [2] ROMANOVSKIJ, V.P.: *Příručka pro lisování za studena*, SNTL, Praha, 1959
- [3] BOBČÍK, L.: *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*, SNTL, Praha, 1983
- [4] MACHEK, V. VESELÝ, L. VESELÝ, M. VIŠŇÁK, J.: *Zpracování tenkých plechů*, SNTL, Praha 1982
- [5] TMĚJ, J. MIKEŠ, V.: *Teorie tváření*, VŠST, Liberec, 1981
- [6] NOVOTNÝ, J. LANGER, Z.: *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*, SNTL, Praha, 1980
- [7] KEJVAL, Z.: *Tváření plechu I.- Základy lisování plechu*, SNTL, Praha, 1960
- [8] SEDLÁČEK, V.: *Povrchy a povlaky kovů*, ČVUT, Praha, 1992
- [9] <http://www.shm-cz.cz>, duben 2008
- [10] <http://www.vuhz.cz>, duben 2008
- [11] NOVÁ, I.: *Materiály a strojírenská technologie*, VŠST, Liberec, 1990



PŘÍLOHY

diplomové práce

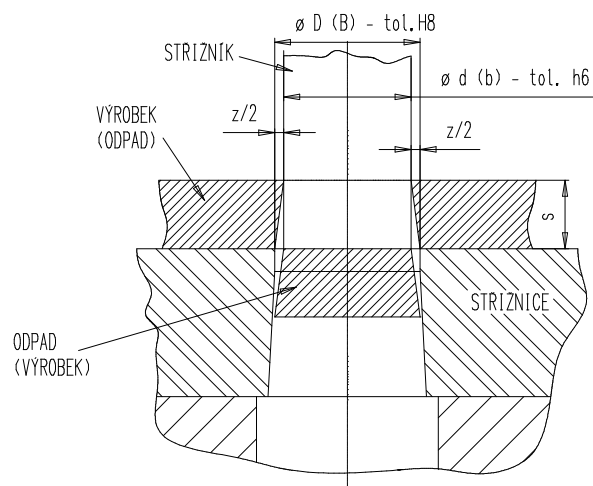
- Příloha 1: Určení střížné vůle lisovacích nástrojů používaných ve firmě
 ŘETĚZY VAMBERK s.r.o.
- Příloha 2: Tabulka hodnot měření rozměru otvoru
- Příloha 3: Tabulka naměřených hodnot dle Brinella



Určení střížné vůle lisovacích nástrojů používaných ve firmě ŘETĚZY VAMBERK s.r.o.

P1: Určení střížné vůle lisovacích nástrojů používaných ve firmě

ŘETĚZY VAMBERK s.r.o.



pozn.: ROZMER PREDDĚR. STRIZNÍKU = ROZM. OTVORU NA VÝKR. mínus 1,2 až 3,5mm(dle "s" strž. mat.)

RETEZY VAMBERK		TYP RETEZY	NÁZEV ÚKONU	$\varnothing D (B) = \varnothing d (b) + z$ $\varnothing d (b) = \varnothing D (B) - z$	TLOUSTKA MAT. "s"
Výstřížek je odpad	OTVOR, KTERÝ V RETEZU LÍČUJE S ČEPEM NEBO POUZDREM	VALECKOVÉ RETEZY ROTARY	1. op. PREDDEROVÁNÍ	$\varnothing D = \varnothing d + (s \times 0,12)$	CELÝ SORTIMENT VYRÁB. V R. V.
			2. op. DEROVÁNÍ (PRISTRIHOVÁNÍ)	$\varnothing D = \varnothing d + 0,1\text{mm}$	DO $\pm 10\text{mm}$
				$\varnothing D = \varnothing d + 0,15\text{mm}$	$\pm 10,1$ až $\pm 14\text{mm}$
				$\varnothing D = \varnothing d + 0,2\text{mm}$	NAD $\pm 14,1\text{mm}$
		DOPRAVNÍ RETEZY	DEROVÁNÍ (PRIME)	$\varnothing D = \varnothing d + 0,1\text{mm}$	DO $\pm 6\text{mm}$ *)
				$\varnothing D = \varnothing d + 0,15\text{mm}$	NAD $\pm 6,1\text{mm}$ (OSAZ. STRIZNÍKEM)
			1. op. PREDDEROVÁNÍ	$\varnothing D = \varnothing d + (s \times 0,07)$	NAD $\pm 6,1\text{mm}$
			2. op. DEROVÁNÍ (PRISTRIHOVÁNÍ)	$\varnothing D = \varnothing d + 0,1\text{mm}$	DO $\pm 10\text{mm}$
				$\varnothing D = \varnothing d + 0,15\text{mm}$	$\pm 10,1$ až $\pm 14\text{mm}$
				$\varnothing D = \varnothing d + 0,2\text{mm}$	NAD $\pm 14,1\text{mm}$
	OTVORY OSTAT.	VSECHNY TYPY	DEROVÁNÍ (PRIME)	$\varnothing D = \varnothing d + (s \times 0,07)$	VSECHNY ROZMERY
	DELENÍ PASU »	DOPRAVNÍ RETEZY	ROZSTRIHOVÁNÍ	$B = b + (s \times 0,07)$	VSECHNY ROZMERY
Výstřížek je výrobkem	TVAR DESKY	VSECHNY TYPY	STRIHÁNÍ (PROSTĚ)	$b = B - (s \times 0,08)$	VSECHNY ROZMERY

*) do 8mm jen u modelu FV 140 DE - $\varnothing D = \varnothing d + 0,2\text{mm}$
OSTATNÍ VYJÍMKY Z TĚTO TABULKY URČUJE TECHNOLOGIE !!

H, konstr., nástr., tabulky, striz, vůle

podpis ved. TPV



Tabulka hodnot měření rozměru otvoru

P2: Tabulka hodnot měření rozměru otvoru

počet kusů	naměřené hodnoty rozměru otvoru							
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
1	18,913	18,92	18,92	18,925	18,92	18,925	18,92	18,925
1000	18,92	18,935	18,92	18,93				
2000	18,915	18,93	18,915	18,93				
3000	18,91	18,925	18,913	18,925				
4000	18,91	18,92	18,91	18,92	18,91	18,92	18,915	18,925
5000	18,90	18,92	18,91	18,92				
6000	18,90	18,93	18,902	18,92				
7000	18,88	18,91	18,90	18,925				
8000	18,87	18,91	18,88	18,90	18,91	18,925	18,91	18,92
9000	18,858	18,90	18,87	18,90				
10000			18,868	18,89				
11000			18,85	18,89				
12000					18,905	18,92	18,90	18,92
16000					18,90	18,915	18,895	18,915
20000					18,902	18,92	18,89	18,905
24000					18,895	18,91	18,89	18,905
28000					18,892	18,912	18,88	18,90
32000					18,88	18,90	18,87	18,895
36000					18,875	18,89	18,85	18,87
40000					18,87	18,89		
44000					18,855	18,88		



Tabulka hodnot tvrdosti dle Brinela

P3: Hodnoty tvrdosti dle Brinella

počet kusů	Vzorky A		Vzorky B		Vzorky C		Vzorky D	
	naměř. hodnot.	HB	naměř. Hodnot.	HB	naměř. hodnot.	HB	naměř. hodnot.	HB
1	1,05	207	1,01	224	1,04	211	1,01	224
1000	1,05	207	1,01	224				
2000	1,04	211	1,02	219				
3000	1,03	215	1,02	219				
4000	1,04	211	1,01	224	1,04	211	1,00	229
5000	1,03	215	1,02	219				
6000	1,04	211	1,03	215				
7000	1,04	211	1,02	219				
8000	1,05	207	1,01	224	1,05	207	1,01	224
9000	1,05	207	1,01	224				
10000			1,01	224				
11000			1,02	219				
12000					1,05	207	1,01	224
16000					1,04	211	1,00	229
20000					1,05	207	1,00	229
24000					1,03	215	1,01	224
28000					1,04	211	1,01	224
32000					1,03	215	1,01	224
36000					1,03	215	1,00	229
40000					1,03	215		
44000					1,02	219		